

Untersuchungen des Massenhaushalts der Jahre 2006/07 und 2007/08

Hintereisferner, Kesselwandferner, Jamtalferner, Mullwitzkees,
Hallstätter Gletscher



Bericht über die Untersuchungen des Instituts für Meteorologie
und Geophysik der Universität Innsbruck (13.06.2009)

A. FISCHER¹, G. MARKL¹, M. OLEFS¹, K. REINGRUBER²,
K. HELFRICHT¹, M. STOCKER-WALDHUBER¹

1. Institut für Meteorologie und Geophysik (IMGI), Universität Innsbruck, Austria

2. Blue Sky Wetteranalysen, Traunmüller u. Reingruber OEG, Austria

Abstract

Direct glaciological mass balance measurements provide important information on the reaction of glaciers to atmospheric forcing. In the Austrian Alps several long term measurement programs exist. The results for Hintereisferner, Kesselwandferner, Jamtalferner, Mullwitzkees and Hallstätter Gletscher for the hydrological years 2006/07 and 2007/08 are presented and compared. Climate conditions from the hydrological years 2006/07 and 2007/08 are summarized and compared. The monitoring system including location of stakes and pits is shown in maps for each glacier. The geodatabase used for the evaluation of mass balance and its changes are described for each glacier.

2006/07 and 2007/08 were years with negative mass balances for all five glaciers. For both years mass balances of the glaciers differed in dependence of winter precipitation and area-altitude distribution. For long time mass balance measurements, a homogenization of the time series is recommended to avoid uncertainties caused from changing geodatabases and to prevent bias caused by changes in glacier area and tributaries which are resulting from climate changes, but not reflecting them.

Kurzfassung

Direkte glaziologische Messungen der Massenbilanz liefern wertvolle Informationen über die Reaktion der Gletscher auf Änderung der atmosphärischen Rahmenbedingungen. In den österreichischen Alpen gibt es mehrere langjährige Massenbilanzreihen. In dieser Arbeit werden die klimatischen Bedingungen und die Ergebnisse der Massenbilanzmessungen von Hintereisferner, Kesselwandferner, Jamtalferner, Mullwitzkees und Hallstätter Gletscher für die hydrologischen Jahre 2006/07 bis 2007/08 zusammengefasst und verglichen. Die Positionen der Pegel und Schächte sind für alle Gletscher in Karten angeführt, die Datengrundlage für die Auswertung und deren Änderungen sind für jeden Gletscher angeführt.

2006/07 und 2007/08 waren Jahre mit negativen Massenbilanzen auf allen fünf Gletschern. Für beide Jahre unterscheidet sich die Massenbilanz der verschiedenen Gletscher in Abhängigkeit von der Menge des Niederschlags und der Topografie des Gletschers. Für längerfristige Massenbilanzmessungen wird die Homogenisierung der Daten empfohlen, damit Diskontinuitäten durch Änderung der Datenbasis vermieden werden und der Einfluss der geänderten Gletscherfläche auf das Ergebnis der Massenbilanz herausgerechnet werden kann. Änderungen der Massenbilanz aufgrund geänderter Gletscherflächen sind zwar die Folge einer Klimaänderung, erschweren aber die Interpretation der Massenbilanzreihen im Hinblick auf klimatische Änderungen.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
1.1	Lage der Gletscher	3
1.2	Bisherige Untersuchungen und Methode	3
1.3	Klimadaten	4
2	Charakteristik der Massenbilanzjahre	5
2.1	Das hydrologische Jahr 2006/07	6
2.1.1	Hintereisferner und Kesselwandferner	6
2.1.2	Jamtalferner	7
2.1.3	Mullwitzkees und Hallstätter Gletscher	9
2.2	Das hydrologische Jahr 2007/08	10
2.2.1	Hintereisferner und Kesselwandferner	10
2.2.2	Jamtalferner	11
2.2.3	Mullwitzkees und Hallstätter Gletscher	13
3	Geodätische Datengrundlage	15
3.1	Digitale Höhenmodelle und Gletschergrenzen	15
3.1.1	Hintereisferner	15
3.1.2	Kesselwandferner	17
3.1.3	Jamtalferner	18
3.1.4	Äußeres Mullwitzkees und Hallstätter Gletscher	18
3.2	Vergleich der Flächen-Höhenverteilung	19
4	Massenbilanz	20
4.1	Übersicht der Massenbilanzen der Jahre 2006/07 und 2007/08	21
4.2	Das hydrologische Jahr 2006/07	22
4.2.1	Hintereisferner und Kesselwandferner	22
4.2.2	Jamtalferner	27
4.2.3	Äußeres Mullwitzkees	31
4.2.4	Hallstätter Gletscher	35
4.3	Das hydrologische Jahr 2007/08	39
4.3.1	Hintereisferner und Kesselwandferner	39
4.3.2	Jamtalferner	44
4.3.3	Äußeres Mullwitzkees	48
4.3.4	Hallstätter Gletscher	52
5	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	55
6	Danksagung	56

1 Einleitung

1.1 Lage der Gletscher

Untersuchungen der Massenbilanz des Instituts für Meteorologie (IMGI) in Innsbruck werden auf verschiedenen Gletschern in Österreich durchgeführt. Ziel dieses Berichts ist es, die Ergebnisse und Details der Untersuchungen der Massenbilanz am Jamtal-, Hintereis- und Kesselwandferner, Mullwitzkees und Hallstätter Gletscher zusammenzufassen. Der Westlichste dieser Gletscher ist der Jamtalferner in der Silvrettagruppe. 50 Kilometer östlich liegen der Hintereisferner (HEF) und sein Nachbargletscher Kesselwandferner (KWF) in den Öztaler Alpen. Weiters werden in der Venedigergruppe, im Nationalpark Hohe Tauern, das äußere Mullwitz- und Zettalunitzkees und im Dachsteinmassiv der Hallstätter Gletscher untersucht.

Der Hintereisferner ist ein typischer Talgletscher mit einer Fläche von ungefähr 7,8 km². Während der letzten Dekaden rissen drei der zugehörigen Gletscher vom HEF ab. Der letzte Gletscher, der sich selbständig machte war der Langtaufererjochferner im Jahr 2000. Der KWF liegt auf einem relativ flachen Plateau über 3000 m Seehöhe. Die Zunge wird durch eine ausgeprägte Spaltenzone vom Plateau getrennt. Aufgrund der großen Abschmelzbeträge im unteren Bereich in den letzten Jahren ist es sehr wahrscheinlich, dass die Zunge in naher Zukunft vom restlichen Gletscher abreißen wird. Der Jamtalferner hat mit ca. 3,4 km² in etwa die gleiche Größe wie der KWF. Die Zunge dieses Talgletschers wird von drei Firnbecken gespeist. In der Venedigergruppe in der Kernzone des Nationalparks Hohe Tauern liegt, nach Süden exponiert, das äußere Mullwitzkees, mit seiner Zunge dem Zettalunitzkees mit einer Gesamtfläche von ca. 3,1 km². Auf der oberösterreichischen Seite des Hohen Dachstein liegt, nach Norden exponiert, der Hallstätter Gletscher mit einer Fläche von 3,1 km². In Tabelle 1.1 sind die Lage, die Fläche und die Höhenstufe der Gletscher zusammengefasst.

Gletscher	geographische Lage	Fläche [km ²]	Höhenstufe [m Seehöhe]
HEF	46° 48' N, 10° 47' O	7,8	2450 - 3700
KWF	46° 50' N, 10° 48' O	3,9	2700 - 3500
JAM	46° 52' N, 10° 10' O	3,4	2400 - 3200
MW	47° 05' N, 12° 22' O	3,1	2690 - 3400
HG	47° 28' N, 13° 36' O	3,1	2150 - 2900

Tabelle 1.1: Geographische Lage, Fläche und Höhererstreckung von HEF (Hintereisferner), KWF (Kesselwandferner), JAM (Jamtalferner), MW (Mullwitzkees) und HG (Hallstätter Gletscher).

1.2 Bisherige Untersuchungen und Methode

HEF und KWF werden schon seit über 100 Jahren wissenschaftlich untersucht (z.B. Hess 1904; Lang und Patzelt 1971; Kuhn u. a. 1985; Schlosser 1997; Span 1993; Span u. a.

1997; Span 1999; Kuhn u. a. 1999; Oitzl 2003; Span und Kuhn 2003 und Matzi 2004). Frühere Veröffentlichungen wurden in Rudolph 1963 zusammengefasst. Die Gletscher der Venedigergruppe wurden von Patzelt 1973 und die Gletscher des Dachsteinmassivs wurden von Simony 1895 und in der Diplomarbeit von Moser 1954 beschrieben.

Seit 1952/53 wird die jährliche Massenbilanz des HEF ermittelt. Die Messungen basieren auf ca. 44 Ablationspegeln und 10 bis 15 Schneeschächten im Akkumulationsgebiet. Die verwendete Methode zur Bestimmung der Massenbilanz wird in Hoinkes 1970 und Kuhn u. a. 1999 beschrieben. Die Höhe der Gleichgewichtslinie wird auf allen Gletschern aus der Flächen-Höhenverteilung der spezifischen Massenbilanz, bestimmt. Untersuchungen zur Massenbilanz des KWF werden seit 1962 durchgeführt, wobei die Untersuchungen in den letzten Dekaden mit Hilfe von Akkumulations- und Ablationspegeln erfolgte. Berichte über die Massenbilanz am HEF, KWF und Jamtalferner wurden von Markl 1975, 1979; 1982 und Kuhn und Markl 1996 veröffentlicht. Im September 2006 wurden mit der Installation von Pegeln am Hallstätter Gletscher, Pegeln, Regenschirm und Wetterhütte am äußeren Mullwitzkees die Untersuchungen zur Massenbilanz, mit Hilfe der direkten glaziologischen Methode begonnen. Dieser Bericht gibt eine Zusammenfassung über die Messungen der Massenbilanz und die Änderung der geodätischen Grundlage.

1.3 Klimadaten

Niederschlagsdaten für HEF und KWF werden mit einer zeitlichen Auflösung von zwei Monaten im Sommer und einer Wintersumme an mehreren Regenschirmern abgelesen. Klimadaten (Temperatur und Niederschlag) stehen von einer Klimastation in Vent (1906 m) zur Verfügung. Von den zwei Stationen am HEF, die im August 2003 aufgebaut wurden, wird nur noch die Station auf der Zunge auf 2640 m Seehöhe betrieben. Eine Webcam am Rofenberg liefert tägliche Bilder des westlichen oberen HEF. Die Informationen der Schneebedeckung aus den Bildern werden unterstützend zur Bestimmung der Massenbilanz seit dem hydrologischen Jahr 2003/04 verwendet. Für Jamtalferner gültige Klimadaten werden von einer automatische Klimastation in Galtür, betrieben von der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG), auf einer Meereshöhe von 1648 m bezogen. Die Station liegt ca. 5,5 km nördlich der Zunge des Jamtalfernens und wurde 1974 und 1987 versetzt. Temperatur und Niederschlagsdaten zum äußeren Mullwitzkees werden in einer Wetterhütte und einem Totalisator am Defreggerhaus auf knapp 3000 m seit September 2006 aufgezeichnet. Leider wurden in den Wintermonaten der ersten beiden Jahre die Wetterhütte aufgebrochen, wodurch nur in den Sommermonaten Temperaturdaten aufgezeichnet werden konnten. Im Sommer 2007 wurden an der Simonyhütte am Hallstätter Gletscher eine automatische Wetterstation und eine Webcam installiert. Aufgezeichnet werden Windrichtung, Windstärke und Temperatur. Aus den Webcambildern werden Informationen über die Schneebedeckung bezogen.

2 Charakteristik der Massenbilanzjahre

Für den Massenhaushalt eines Gletschers in unserer Alpenregion sind drei meteorologische Parameter von besonderer Bedeutung:

1. der Niederschlag während des Winters
2. die Sommertemperatur und
3. die Anzahl und Menge der Neuschneefälle während des Sommers.

Aus der praktischen Erfahrung wird in diesem Zusammenhang der Winter als die sieben Monate von Oktober bis einschließlich April genommen, der Sommer vom Mai bis September. Die folgenden Angaben zur Witterung beziehen sich auf die Station Vent in 1906 m Seehöhe, die Station Galtür in 1648 m Seehöhe, die Station am Defreggerhaus in 2975 m Seehöhe und die Station Simonyhütte in 2200 m Seehöhe. Temperatur- und Niederschlagsdaten dieser Stationen sind in den Tabellen 2.1, 2.3, 2.6 und 2.8 zusammengefasst. Die an den Totalisatoren rund um HEF und KWF, Jamtalferner, Mullwitzkees und Hallstätter Gletscher gemessenen Niederschlagssummen sind in den Tabellen 2.2, 2.4, 2.5, 2.7, 2.9 und 2.10 zusammengefasst. Die Abbildungen 2.1 und 2.2 zeigen die Abweichung vom Jahresmittel der Temperatur und der Jahressumme des Neiderschlags der Jahre 2006, 2007 und 2008 vom langjährigen Mittel 1971 bis 2000.

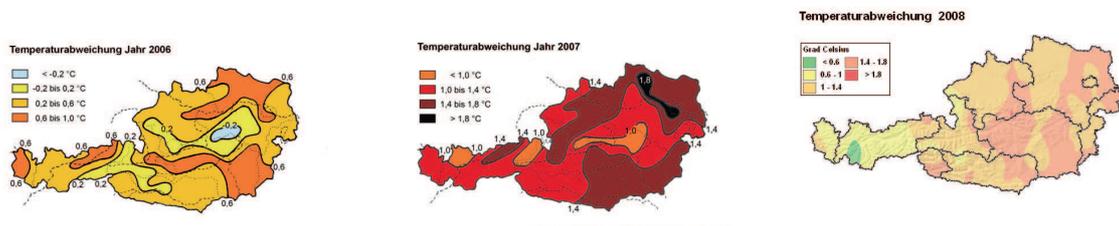


Abbildung 2.1: Abweichung der Temperatur der Jahre 2006, 2007 und 2008 vom langjährigen Mittel 1971 bis 2000 (www.zamg.ac.at).

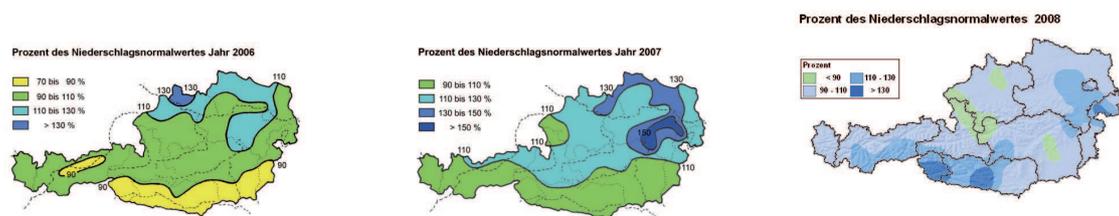


Abbildung 2.2: Abweichung der Niederschlagssumme der Jahre 2006, 2007 und 2008 vom langjährigen Mittel 1971 bis 2000 (www.zamg.ac.at).

2.1 Das hydrologische Jahr 2006/07

2.1.1 Hintereisferner und Kesselwandferner

Der Winter 2006/07: Die Temperatur des Winters 2006/07 (Oktober-April) lag mit $0,2^{\circ}\text{C}$ um $3,1^{\circ}\text{C}$ über dem langjährigen Mittelwert 1906-2007 der Station Vent. Alle Monate waren deutlich zu warm und lagen zwischen $1,4^{\circ}\text{C}$ (März) und $4,7^{\circ}\text{C}$ (April) über dem langjährigen Mittel. Besonders auf die Abschmelzung ausgewirkt haben sich der um $2,9^{\circ}\text{C}$ zu warme Oktober und der um $4,7^{\circ}\text{C}$ zu warme April. Die Niederschlagsmenge lag mit 204 mm um 92 mm unter dem langjährigen Mittelwert 1906-2007 von 296 mm. Zu trocken waren der November mit 19 mm, -31 mm gegenüber dem Mittelwert, der Dezember (21 mm, -19 mm verglichen mit dem langjährigen Mittel), und besonders der April (4 mm, -39 mm verglichen mit dem langjährigen Mittel). Geringfügig positive Abweichungen der Niederschlagssumme gegenüber dem Mittelwert gab es im Oktober und März.

Der Sommer 2007: Der Sommer war gegenüber dem langjährigen Mittel etwas zu warm. Der Niederschlag entsprach dem langjährigen Mittel. Die Mitteltemperatur des Sommers 2007 (Mai bis September) in Vent betrug $8,5^{\circ}\text{C}$ und war somit um $+0,6^{\circ}\text{C}$ wärmer als im langjährigen Mittel 1906-2005. Bis auf den September, der um $1,9^{\circ}\text{C}$ kühler war als im langjährigen Mittel, und den August, dessen Monatsmittel nahe dem langjährigen Mittel liegt, waren alle Monate deutlich zu warm. Besonders im Frühsommer waren die Temperaturen zu hoch: Im Juni um $2,2^{\circ}\text{C}$, im Mai um $1,8^{\circ}\text{C}$. Die 387 mm Niederschlag liegen geringfügig über dem langjährigen Mittel von 1906-2007. Zu feucht waren der Mai mit 79 mm, $+17$ mm über dem Mittelwert, der August mit 101 mm, $+10$ mm über dem Mittelwert und der September mit 81 mm, $+19$ mm über dem Mittelwert. Zu trocken waren der Juli mit 66 mm (-21 mm) und der Juni mit 60 mm (-19 mm).

Im Oktober 2006 sind auf großen Teilen des HEF noch beträchtliche Mengen Eis geschmolzen. Am untersten Pegel dürfte zwischen Anfang Oktober und dem Ende des natürlichen Haushaltsjahres Ende Oktober etwa 1,5 m Eis geschmolzen sein. Im Oktober, November und Dezember gab es nur sehr wenige Schneefälle mit starkem Wind. Erst Ende März bildete sich eine etwas mächtigere Schneedecke. Im zu warmen und viel zu trockenen April kam allerdings kein Schnee mehr dazu, sondern die Schneeschmelze setzte ein. Die geringe Winterschneedecke und die hohen Temperaturen im April, Mai und Juli führten zu einem raschen Abschmelzen der Altschneedecke, der Beginn der Eisablation beim Pegel 12 war um den 15. April. Während des extrem warmen Juli schmolz am Gletscher fast die gesamte Altschneedecke. Im August verzögerte sich das Abschmelzen des Eises durch Schneefälle etwas, im September lag auf großen Teilen der Gletscher eine dünne Schneedecke. Durch das frühe Zuschneien der Gletscher konnte kein Bildflug durchgeführt werden. Im Juli war die Zunge durch oberflächlich abfließendes Schmelzwasser ganz mit Wasser bedeckt. Am steilen Teil der Zunge konnten am Pegel 12 über 20 cm Abschmelzung pro

Tag beobachtet werden.

Die mittleren Abschmelzraten beim Pegel 12 am Zungenende des HEF betragen im Zeitraum 25.6. – 16.07.07 6,8 cm pro Tag, vom 16.07. – 02.08.07 8,2 cm/d, vom 02.08. bis zum 24.08.07 5,5 cm/d und vom 24.08. bis zum 20.09.07 4,0 cm pro Tag. Das hydrologische Jahr 1.10.06 – 30.9.07 war gegenüber dem langjährigen Mittel 1906-2005 mit einer Temperatur von 3,7°C um 2,1°C zu warm und mit einem Niederschlagswert von 591 mm um 86 mm zu trocken.

Monat	Temperatur Grad C		Niederschlag mm	
	2006/2007	Mittel 1906 – 2005	2006/2007	Mittel 1906 - 2007
Oktober	6,0	3,1	57	52
November	0,0	-2,3	19	50
Dezember	-2,5	-5,5	21	40
Januar	-2,4	-6,7	35	38
Februar	-2,9	-6,1	29	35
März	-1,8	-3,2	39	38
April	4,9	0,2	4	43
Winter	0,2	-2,9	204	296
Mai	6,7	4,9	79	62
Juni	10,3	8,1	60	79
Juli	10,9	9,9	66	87
August	9,7	9,5	101	91
September	5,0	6,9	81	62
Sommer	8,5	7,9	387	381
hydrolog. Jahr	3,7	1,6	591	677

Tabelle 2.1: Klimadaten 2006/07 an der Station Vent in 1906 m Seehöhe.

2.1.2 Jamtalferner

Der Winter 2006/07: Der Winter war zu warm und zu trocken. Die Temperatur des Winters 2006/07 (Oktober-April) lag mit +0,9°C um +3,0°C über dem Mittelwert 1951-2000. Er war damit der mit Abstand wärmste Winter seit Beginn der Massenhaushaltsmessungen. Es waren alle Monate zu warm. Besonders extrem fiel der April aus: mit einem Wert von 6,4°C lag er um +5,1°C über dem langjährigen Mittelwert und war auch um +3,5°C wärmer als der bisher wärmste April seit Beginn der Untersuchungen am Jamtalferner. Extrem mild war auch der Jänner mit einem Mittelwert von -1,4°C gegenüber den -5,9°C des langjährigen Mittelwertes und den -2,2°C des bisher wärmsten Jänners.

Die Niederschlagsmenge lag mit 378 mm um 45 mm unter dem langjährigen Mittelwert 1951-2000 von 423 mm. Zu feucht waren der Oktober mit 80 mm, +20 mm und der Jänner mit 101 mm, +35 mm. Zu trocken war der Dezember mit 24 mm, -38 mm und besonders der April mit 10 mm, -54 mm. Ein viel zu warmer und zugleich viel zu trockener

Niederschlagsmessungen mit Totalisatoren im Einzugsgebiet des Pegels Rofenache, in mm						2006/2007		
Messstelle	Vent N-Waage	Vent	Hochjochospiz	Vernagtbrücke	Proviantdepot	Rofenberg	Latschbloder	Hintereisferner
Seehöhe	1900 m	1900 m	2360 m	2640 m	2737 m	2827 m	2910 m	2970 m
Jahr								
1.10.2006- 30.9.2007	591	770	723	987	922	952	1076	1311
Verhältnis zu Vent		1.30	1.22	1.67	1.56	1.61	1.82	2.22
Winter								
1.10.2006 - 31.3.2007	199	246	210	320	291	356	350	456
Verhältnis zu Vent		1.24	1.06	1.63	1.47	1.78	1.78	2.29
Sommer								
1.4.2007 - 30.9.2007	392	524	513	667	631	596	726	855
Verhältnis zu Vent		1.34	1.32	1.70	1.61	1.52	1.85	2.18

Tabelle 2.2: An den Totalisatoren im Einzugsgebiet der Rofenache gemessene Niederschlagssummen 2006/07.

April sind äußerst ungünstige Voraussetzungen für den Massenhaushalts eines Gletschers. Beim Regenmesser Jamtalferner Zunge wurde im Zeitraum 29.9.2006 – 26.4.2007 ein Niederschlag von 543 mm gemessen, das entspricht einem Wert von 548 mm für den Zeitraum 1.10.2006 – 30.4.2007.

Der Sommer 2007: Der Sommer war gegenüber dem langjährigen Mittel von 1951-2000 zu warm und zu feucht. Die Mitteltemperatur des Sommers 2007 (Mai bis September) betrug $10,0^{\circ}\text{C}$ und war somit um $+0,6^{\circ}\text{C}$ wärmer als im langjährigen Mittel 1951-2000. Zu warm waren der Mai mit $+2,2^{\circ}\text{C}$, der Juni mit $+1,9^{\circ}\text{C}$ und der Juli mit $+0,6^{\circ}\text{C}$, zu kalt hingegen der September mit $-1,8^{\circ}\text{C}$, dem Mittel entsprechend der August. Die 666 mm Niederschlag bedeuten eine Abweichung von $+76$ mm gegenüber dem langjährigen Mittelwert 1951-2000, wobei mit Ausnahme des Septembers alle Monate zu feucht ausfielen.

Beim Regenmesser Jamtalferner Zunge wurden im Zeitraum 26.4. – 21.9.07 905 mm Niederschlag gemessen. Die geringe Winterschneedecke, so lagen Ende April nur ca. 2 m Schnee auf der Zunge des Jamtalferners, und die hohen Temperaturen im Mai, Juni und Juli führten zu einem starken Abschmelzen der Altschneedecke. Mitte Juli waren daher nur mehr geringe Altschneereste am Gletscher vorhanden. Die Neuschneefälle zu Beginn des Septembers brachten in den höheren Regionen das Ende der Ablationsperi-

ode, die Schneefälle Mitte September dann am gesamten Gletscher. Das hydrologische Jahr 1.10.06 – 30.9.07 war durch den extrem warmen Winter gegenüber dem langjährigen Mittel 1951-2000 mit einer Temperatur von 4,7°C um +2,0°C zu warm und mit einem Niederschlagswert von 1044 mm um 31 mm zu feucht. Beim Vergleich mit langjährigen Mittelwerten muss man beachten, dass die Klimastation Galtür 1974 und 1987 verlegt wurde und heute ca. 50 m über dem Talboden liegt.

Monat	Temperatur Grad C		Niederschlag mm	
	2006/2007	Mittel 1951 - 2000	2006/2007	Mittel 1951 - 2000
Oktober	6.7	3.9	80	60
November	0.5	-1.7	61	64
Dezember	-3.2	-4.8	24	62
Januar	-1.4	-5.9	101	66
Februar	-1.7	-5.4	49	57
März	-0.8	-2.2	53	60
April	6.4	1.3	10	54
Winter	0.9	-2.1	378	423
Mai	8.5	6.3	111	81
Juni	11.4	9.5	144	123
Juli	12.2	11.6	165	147
August	11.3	11.2	184	142
September	6.4	8.2	62	97
Sommer	10.0	9.4	666	590
hydrolog. Jahr	4.7	2.7	1044	1013

Tabelle 2.3: Klimadaten 2006/07 an der Station Galtür in 1648 m Seehöhe.

2.1.3 Mullwitzkees und Hallstätter Gletscher

Für das erste Jahr der Massenhaushaltsuntersuchungen am Mullwitzkees stehen keine Temperaturdaten zur Verfügung, da die Wetterhütte mehrmals aufgebrochen wurde und somit die Temperaturmessungen unbrauchbar waren. Der gemessene Niederschlag am Totalisator betrug 1368 mm für den Zeitraum vom 02.10.2006 bis 06.10.2007.

Die klimatischen Randbedingungen für den Hallstätter Gletscher unterscheiden sich von den anderen österreichischen Gletschern mit Massenhaushaltsmessungen, welche am Alpenhauptkamm liegen. Aufgrund seiner Exposition und Lage am Alpennordrand treten gegenüber dem österreichischen Mittel erhöhte Niederschlagsmengen auf. Dies begründet sich durch luvseitige Staueffekte bei nordwest- bis nordöstlicher Anströmung. Betrachtet man den Zeitraum der Winterbilanz von Oktober 2006 bis einschließlich April 2007, waren die Temperaturen etwas höher als im langjährigen Mittel 1971-2000. Die als Schnee akkumulierten Niederschlagsmengen wichen nur leicht negativ vom langjährigen Mittel ab.

Im Sommer 2007 fallen die stark positiven Abweichungen der Monate Mai und vor

allem September bezüglich des Niederschlages auf. Die Schneefälle in diesem Zeitraum reduzierten die Eisabschmelzung. Den gleichen Effekt erzielte ein weiterer Schneefall Anfang Juli. Bezüglich der Temperatur zeigte sich der Sommer im Mai und Juni sehr warm, im Juli und August gemäßig, worauf ein kühler September folgte.

Ableungsdatum	Messung 1	Messung 2	Messung 3	Messung 4	Mittel	Δ [mm]
02.10.2006	52,2 cm	52,1 cm	52,1 cm	52,0 cm	52,1	
31.10.2006	50,1 cm	50,2 cm	50,3 cm	50,3 cm	50,2	64
30.11.2006	45,8 cm	45,8 cm	45,9 cm	45,7 cm	45,8	152
31.12.2006	44,5 cm	44,5 cm	44,6 cm	44,4 cm	44,5	45
01.05.2007	34,1 cm	34,2 cm	34,2 cm	34,1 cm	34,2	352
02.07.2007	24,7 cm	24,8 cm	24,8 cm	24,7 cm	24,8	322
29.07.2007	21,2 cm	21,3 cm	21,3 cm	21,2 cm	21,3	122
06.10.2007	10,3 cm	10,2 cm	10,2 cm	10,3 cm	10,3	311
					Summe	1368

Tabelle 2.4: Werte der Ableungen am Totalisator Defreggerhaus in cm und umgerechnete Niederschlagssumme für den angegebenen Zeitraum.

TOTALISATOR SIMONYHÜTTE				
		Stand	Differenz	Niederschlag [mm]
Aufstellung	29.09.2006	61,0		
2.Ablesung	15.01.2007	45,2	15,8	635
3.Ablesung	01.03.2007	40,6	4,6	185
4.Ablesung	13.04.2007	36,5	4,1	165
(Gefäß teilw. entleert)				
neuer Stand	13.04.2007	43,8		
5.Ablesung	11.05.2007	39,5	4,3	173
6.Ablesung	25.07.2007	22,5	17	684
(Gefäß teilw. entleert)				
neuer Stand	25.07.2007	42,5		
7. Ablesung				
(entleert/neu befüllt)	24.09.2007	23,4	19,1	768
SUMME seit Aufstellung				2610

Tabelle 2.5: Messwerte des Totalisators am Hallstätter Gletscher.

2.2 Das hydrologische Jahr 2007/08

2.2.1 Hintereisferner und Kesselwandferner

Der Winter 2007/08: Die Temperatur des Winters 2007/08 (Oktober-April) lag mit $-2,6^{\circ}\text{C}$ um $0,3^{\circ}\text{C}$ über dem langjährigen Mittelwert. Der Oktober 2007 war um etwa 1°C wärmer als das langjährige Mittel, Jänner und Februar 2008 fast 3°C wärmer. Die Temperaturen des Spätwinters entsprachen dem langjährigen Mittel. Die Niederschlagsmenge war mit 280 mm nur geringfügig unter dem langjährigen Mittelwert 1906-2007

von 296 mm. Der November war durch häufige Westwetterlagen gekennzeichnet, die nur geringe Niederschläge im Rofental brachten.

Zu trocken waren der Dezember und der Februar, in denen nur etwas mehr als die Hälfte des langjährigen Mittels des Niederschlags fiel. Der häufige Wind verursachte starke Umlagerung des Schnees. Die Niederschlagssummen des Jänners waren durchschnittlich, der November und der April überdurchschnittlich wenn auch in geringerem Ausmaß als der Oktober. Die maximale Schneehöhe im Firngebiet dürfte Mitte Mai bis Anfang Juni erreicht worden sein.

Der Sommer 2008: Der Sommer war gegenüber dem langjährigen Mittel um $0,8^{\circ}\text{C}$ zu warm. Der Niederschlag entsprach dem langjährigen Mittel (1906-2005). Bis auf den September, der um $1,0^{\circ}\text{C}$ kühler war als im langjährigen Mittel, und den Juli, dessen Monatsmittel nahe dem langjährigen Mittel lag, waren alle Monate um etwa 1°C zu warm. Die Niederschlagssummen in Frühsommer entsprachen genau dem langjährigen Mittel, der Niederschlag im Juli war um 30 mm über dem langjährigen Mittel, was durch die unterdurchschnittlichen Niederschläge im August und September wieder kompensiert wurde.

Monat	Temperatur Grad C		Niederschlag mm	
	2007/2008	Mittel 1906 – 2005	2007/2008	Mittel 1906 - 2007
Oktober	2,3	3,1	14,3	52
November	-3,6	-2,3	81,4	50
Dezember	-6,2	-5,5	25,8	40
Januar	-3,8	-6,7	38,6	38
Februar	-3,5	-6,1	14,4	35
März	-3,3	-3,2	34,0	38
April	-0,2	0,2	71,6	43
Winter	-2,6	-2,9	280,1	296
Mai	6,6	4,9	61,2	62
Juni	10,2	8,1	80,2	79
Juli	10	9,9	116,9	87
August	10,7	9,5	83,9	91
September	5,9	6,9	39,5	62
Sommer	8,7	7,9	381,7	381
hydrolog. Jahr	2,1	1,6	661,8	677

Tabelle 2.6: Klimadaten 2007/08 an der Station Vent in 1906 m Seehöhe.

2.2.2 Jamtalferner

Der Winter 2007/08: Der Winter war zu feucht, die Temperatur entsprach dem langjährigen Mittelwert. Die Temperatur des Winters 2007/08 (Oktober-April) lag mit $-2,0^{\circ}\text{C}$ um $+0,1^{\circ}\text{C}$ über dem Mittelwert 1951-2000. Zu warm waren die Monate Jänner

Niederschlagsmessungen mit Totalisatoren im Einzugsgebiet des Pegels Rofenache, in mm						2007/2008		
Messstelle	Vent N-Waage	Vent	Hochjochospiz	Vernagtbrücke	Proviantdepot	Rofenberg	Latschbloder	Hintereisferner
Seehöhe	1900 m	1900 m	2360 m	2640 m	2737 m	2827 m	2910 m	2970 m
Jahr								
Jahr	661,8							
1.10. 2007- 30.9.2008	661,8	774	702	947	867	986	1000	1447
Verhältnis zu Vent		1,17	1,06	1,43	1,31	1,49	1,51	2,19
Winter								
1.10. 2007 - 31.3.2008	208,5	240	197	300	269	276	262	506
Verhältnis zu Vent		1,16	0,95	1,44	1,29	1,32	1,26	2,43
Sommer								
1.4.2008 - 30.9.2008	453,3	534	505	647	598	710	738	941

Tabelle 2.7: An den Totalisatoren im Einzugsgebiet der Rofenache gemessene Niederschlagssummen 2007/08.

und Februar, der Jänner mit $-3,1^{\circ}\text{C}$ um $+2,8^{\circ}\text{C}$ gegenüber dem Mittelwert von $-5,9^{\circ}\text{C}$ und der Februar mit $-3,6^{\circ}\text{C}$ um $+1,8^{\circ}\text{C}$ gegenüber $-5,4^{\circ}\text{C}$. Zu kalt waren die Monate Oktober bis Dezember. Der Oktober lag mit $3,1^{\circ}\text{C}$ um $-0,8^{\circ}\text{C}$ unter dem langjährigen Mittelwert, der November mit $-3,1^{\circ}\text{C}$ um $-1,4^{\circ}\text{C}$ und der Dezember mit $-6,0^{\circ}\text{C}$ um $-1,2^{\circ}\text{C}$.

Die Niederschlagsmenge lag mit 470 mm um 47 mm über dem langjährigen Mittelwert 1951-2000 von 423 mm. Zu feucht fielen die Monate November, März und April aus. Der November war mit 119 mm gegenüber dem Mittelwert um 55 mm zu nass, der März mit 105 mm um 49 mm und der April mit 103 mm um 49 mm. Eindeutig zu trocken hingegen waren Oktober und Februar, der Oktober mit 26 mm um 34 mm und der Februar mit 19 mm um 38 mm. Beim Regenmesser Jamtalferner Zunge wurde im Zeitraum 21.9.2007–30.4.2008 ein Niederschlag von 707 mm gemessen, das entspricht einem Wert von 706 mm für den Zeitraum 1.10.2007 – 30.4.2008.

Der Sommer 2008: Der Sommer war gegenüber dem langjährigen Mittel von 1951-2000 zu warm und etwas zu trocken. Die Mitteltemperatur des Sommers 2008 (Mai bis September) betrug $10,1^{\circ}\text{C}$ und war um $+0,8^{\circ}\text{C}$ wärmer als im langjährigen Mittel und um $+0,1^{\circ}\text{C}$ wärmer als im Sommer 2007. Zu warm waren der Mai mit $+1,8^{\circ}\text{C}$, der Juni mit $+2,0^{\circ}\text{C}$ und der August mit $+0,7^{\circ}\text{C}$. Zu kalt hingegen fiel der September aus, mit

einer Abweichung von $-1,1^{\circ}\text{C}$.

Die 563 mm Niederschlag des Sommers 2008 bedeuten ein Minus von 27 mm gegenüber dem langjährigen Mittel. Zu trocken waren der Mai mit 48 mm, einem Minus von 33 mm, der Juni mit 94 mm, einem Minus von 29 mm und der September mit 73 mm und einem Minus von 24 mm. Zu feucht hingegen war der Juni mit 198 mm, was ein Plus von 52 mm gegenüber dem langjährigen Mittel bedeutet. Beim Regenmesser Jamtalferner Zunge wurden im Zeitraum 30.4. – 25.9.08 863 mm Niederschlag gemessen, das entspricht einem Wert von 853 mm für den Zeitraum 1.5. – 30.9.2008. Der Winterniederschlag 2007/2008 führte zwar zu einer mächtigeren Schneedecke als im Vorjahr, die positive Temperaturabweichung und der geringere Niederschlag in den Monaten Mai und Juni 2008 führten aber zu einem raschen Abbau der Winterschneedecke, sodass bereits früh im Jahr große Teile der Gletscherflächen schneefrei wurden. Die dadurch verminderte Albedo führte dann zu einer stark negativen Sommerbilanz. Die Neuschneefälle am 14. September beendeten die Ablationsperiode 2008.

Monat	Temperatur Grad C		Niederschlag mm	
	2007/2008	Mittel 1951 - 2000	2007/2008	Mittel 1951 - 2000
Oktober	3.1	3.9	26	60
November	-3.1	-1.7	119	64
Dezember	-6.0	-4.8	58	62
Januar	-3.1	-5.9	40	66
Februar	-3.6	-5.4	19	57
März	-2.7	-2.2	105	60
April	1.2	1.3	103	54
Winter	-2.0	-2.1	470	423
Mai	8.5	6.3	48	81
Juni	11.5	9.5	94	123
Juli	11.6	11.6	198	147
August	11.9	11.2	150	142
September	7.1	8.2	73	97
Sommer	10.1	9.4	563	590
hydrolog. Jahr	3.0	2.7	1033	1013

Tabelle 2.8: Klimadaten 2007/08 an der Station Galtür in 1648 m Seehöhe.

2.2.3 Mullwitzkees und Hallstätter Gletscher

Wie im ersten Jahr wurde die Wetterhütte am Defreggerhaus in den Wintermonaten aufgebrochen. Aus diesem Grund stehen nur die Temperaturen der Sommermonate zur Verfügung. Der gemessene Niederschlag am Totalisator betrug 1607 mm für den Zeitraum vom 06.10.2007 bis 08.10.2008

Der Zeitraum der Winterbilanz startete mit kühleren Temperaturen gegenüber dem langjährigen Mittel von 1991-2000. Die Monate Oktober und November zeigten hier nega-

tive Abweichungen. Dazu fiel im November überdurchschnittlich viel Niederschlag, wobei am Hallstätter Gletscher mehr als zwei Meter Schnee akkumuliert wurden. Die Monate Januar und Februar zeigten sich hingegen deutlich wärmer als das Mittel. Im März wurde nochmals überdurchschnittlich viel Niederschlag gemessen, welcher zu einem weiteren Anwachsen der Schneedecke beitrug. Die Ablationssaison startete 2008 im Mai und Juli mit wärmeren Temperaturen und geringeren Niederschlagsmengen gegenüber dem Mittel. Die folgenden Monate Juli, August und September zeigten durchschnittliche Temperaturwerte. Der September fiel etwas zu trocken aus. Abweichungen der Temperatur und des Niederschlags gegenüber dem langjährigen Mittel von 1971-2000 sind aus den Abbildungen 2.1 und 2.2 ersichtlich.

Der Winter 2007/2008 brachte eine erhöhte Schneeakkumulation. Damit verzögerte sich der Beginn der Ausaperung des Eises um circa 20 Tage gegenüber dem Vorjahr. Über den Sommer traten keine Niederschläge in Form von Schnee auf, welche die Ablation hätten verringern können. Die Ablationssaison dauerte bis Mitte September an.

Datum	Messung 1	Messung 2	Messung 3	Messung 4	Messung 5	Δ [mm]
06.10.2007	52,8	52,9	52,9	52,8		
25.10.2007	50,6	50,6	50,7	50,7		75
25.10.2007	59,2	59,2	59,3	59,4	59,2	
26.12.2007	49,4	49,6	49,6	49,5	49,5	321
26.01.2008	47,3	47,5	47,5	47,4	47,4	67
29.03.2008	40,9	40,9	40,9	40,8	40,8	212
26.04.2008	34,6	34,7	34,8	34,8	34,7	203
28.06.2008	29,3	29,2	29,2	29,3	29,4	177
09.07.2008	26,7	26,8	26,8	26,9	26,7	81
28.07.2008	22,2	22,1	22,1	22,2	22,3	147
28.07.2008	32,3	32,4	32,4	32,3	32,4	
26.08.2008	26,0	26,2	26,0	26,1	26,2	206
18.09.2008	23,0	22,9	23,1	22,9	23,0	102
08.10.2008	22,4	22,5	22,3	22,4	22,3	16
					Summe	1607

Tabelle 2.9: Werte der Ablesungen am Totalisator Defreggerhaus in cm und umgerechnete Niederschlagssumme für den angegebenen Zeitraum. Am 25.10.2008 wurde der Totalisator topf ausgetauscht und am 28.07.2008 etwas Flüssigkeit abgelassen.

2007/2008		Stand	Differenz	Niederschlag	Monatsrechnung	
	24.09.2007	56,5			31.10.2007	153
1. Ablesung	21.01.2008	39,8	16,7	671,51	30.11.2007	317
2. Ablesung	13.04.2008	26,7	13,1	526,75	31.12.2007	143
	entleert	Stand neu			31.01.2008	136
3. Ablesung	06.05.2008	37	3,2	128,64	29.02.2008	89
4. Ablesung	02.06.2008	36,6	0,4	16,08	31.03.2008	278
5. Ablesung	09.07.2008	28,1	8,5	341,78	30.04.2008	187
6. Ablesung	31.07.2008	21	7,1	285,49	31.05.2008	27
	entleert	Stand neu			30.06.2008	247
7. Ablesung	22.10.2009	34,04	13,18	529,96	31.07.2008	397
	entleert/neu befüllt	Stand neu			31.08.2008	180
					30.09.2008	105
SUMME (mm)				2500,21		2259

Tabelle 2.10: Messwerte des Totalisators am Hallstätter Gletscher.

3 Geodätische Datengrundlage

Die geodätische Datengrundlage, die zur Bestimmung der Massenbilanz der fünf Gletscher verwendet wird, wird laufend angepasst. Dabei werden insbesondere die Gletschergrenzen an den Zungen angepasst.

3.1 Digitale Höhenmodelle und Gletschergrenzen

3.1.1 Hintereisferner

Während der letzten Dekaden wurde die geodätische Datengrundlage zur Bestimmung der Massenbilanz des HEF mehrmals geändert: Die Karte von 1991 wurde 1998 ersetzt (bereitgestellt von der Kommission für Glaziologie der Bayrischen Akademie der Wissenschaften), weiters wurden die Karten 2001 und 2004 ersetzt. Bis zum hydrologischen Jahr 1996/97 wurde die Karte von Schneider (Kuhn, 1979) aus dem Jahr 1979 zur Berechnung der Massenbilanz verwendet, wobei die Gletschergrenzen jährlich angepasst wurden. Die Position der Pegel entlang der zentralen Fließlinie des Gletschers wurden bis 1997 von H. Schneider mittels Theodolit eingemessen. Ab 1996/97 wurde das Digitale Höhenmodell aus dem Gletscherinventar von 1997 (Lambrecht und Kuhn, 2007) verwendet. Seit dem hydrologischen Jahr 2003/2004 basiert die Bestimmung der Massenbilanz auf dem digitalen Höhenmodell einer Laserscankampagne im Rahmen des Omega Projektes (Geist, 2005; Geist u. a., 2005; Geist und Stötter, 2007) im Oktober 2001. Die Gletschergrenzen wurden aus Orthofotos vom 12.08.2003 entnommen. In Abbildung 3.1 ist das Orthofoto für HEF und KWF mit Gletschergrenzen zu sehen. Seit diese Daten in UTM Projektion (WGS84) zur Verfügung stehen, wurde das Koordinatensystem geändert, um die Position der Pegel und die Gletschergrenzen mit Hilfe von GPS zu vermessen. Die Pegelpositionen wurden mit einem Garmin Summit GPS und einer Genauigkeit von 5 m eingemessen. Um eine Verlagerung der Höhenschichtlinien durch die Änderung des Koordinatensystems zu verhindern, wurden die Höhenangaben mit einer linearen Korrektur an die Station Hintereis und das Hochjochhospiz der Karte 1979 angeglichen.

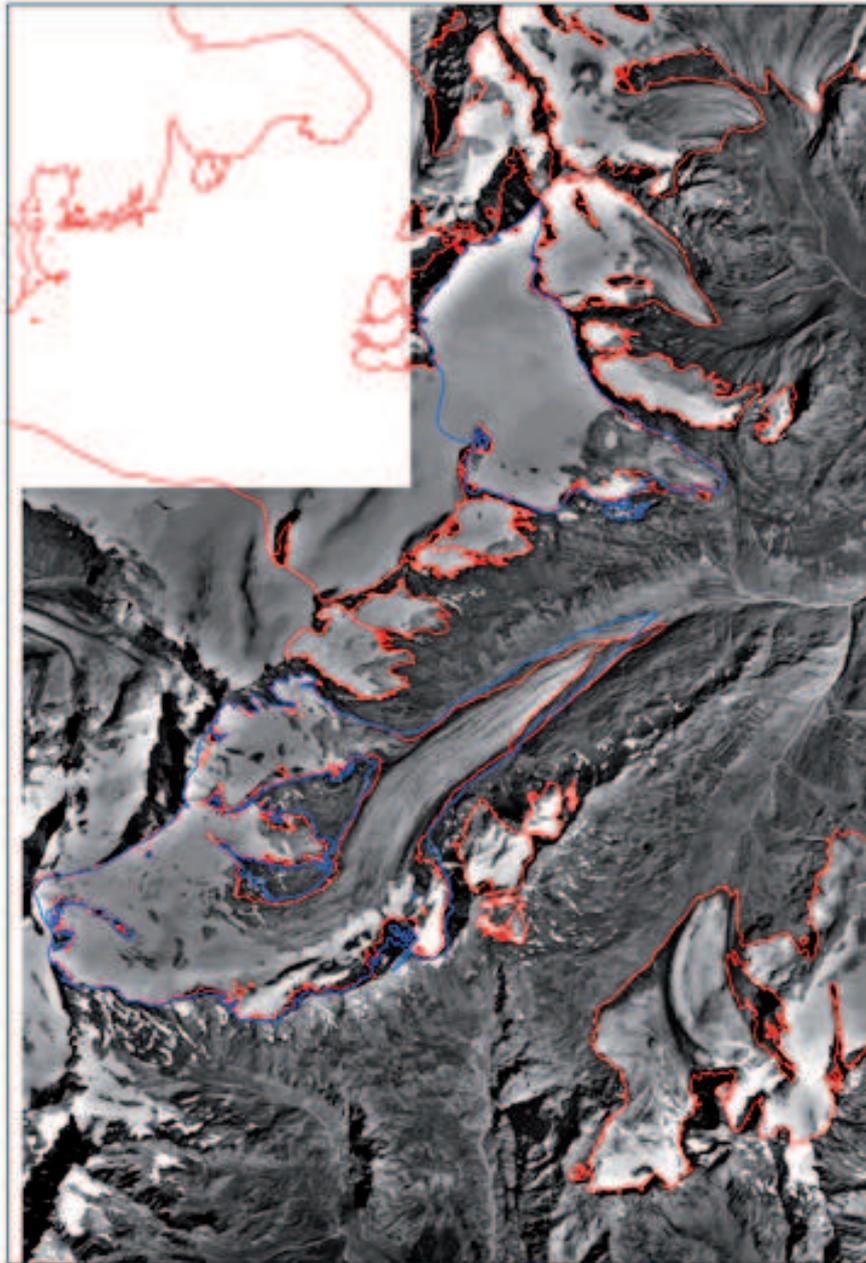


Abbildung 3.1: Orthofoto 1997 mit Gletschergrenzen 1969 für KWF und HEF in blau und Gletschergrenzen 1997 in rot (mit Toteis) aus dem Österreichischen Gletscherinventar 1998.

Die Gesamtfläche des HEF verkleinerte sich von 8,716 km² 1995/96 auf 7,401 km² 2005/06. Die Bestimmung der Gletschergrenze ist im Zungenbereich des HEF aufgrund von Schuttbedeckung besonders schwierig. Der Schuttbedeckte Teil des HEF wird zur Berechnung der Massenbilanz nicht mit einbezogen. Auf 3400 m bis 3750 m ist die Bestimmung der Gletschergrenze aufgrund der Steilheit und der wechselnden Schnee- und Firnbedeckung der Felsen sehr schwierig. Die Änderung der Datengrundlage zwischen 1996 und 1997 hatte einen kleinen Einfluss auf die Flächen-Höhen-Verteilung. Die aus dem Orthofoto 2003 abgeleiteten Flächen aller Höhenstufen, außer dem unteren Teil, waren kleiner als die zuvor definierten Flächen. Diese Tatsache resultiert aus einer kleinen Tendenz der Massenbilanz zu negativeren Werten.

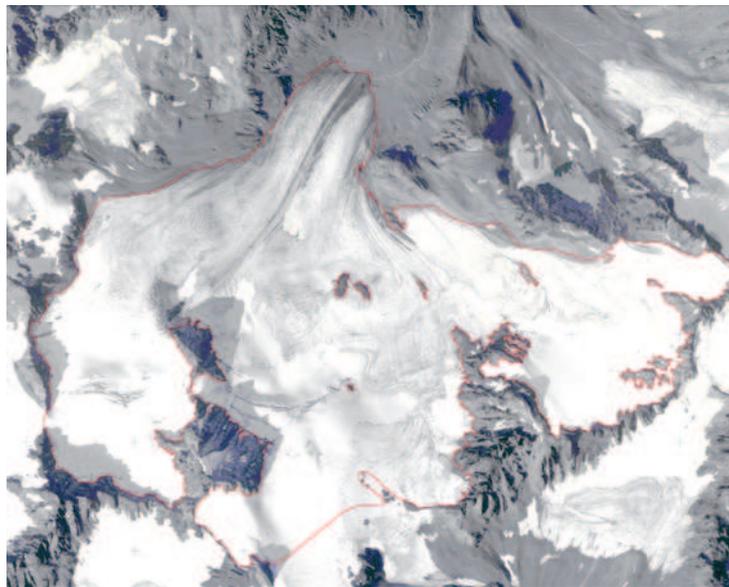


Abbildung 3.2: Orthofoto des Jamtelferners 2002.

3.1.2 Kesselwandferner

Die Bestimmung der Massenbilanz des KWF basierte auf dem digitalen Höhenmodell von 1971 (Schneider, 1975) bis 2003/04. Die geodätische Datengrundlage, welche seit 2003/04 Verwendung findet, wird aus dem Datensatz des HEF entnommen. Die Massenbilanz des KWF wird mit Hilfe von Ablations und Akkumulationspegeln bestimmt. Seit Mitte der 80er werden keine Schneeschächte mehr gegraben. Die Schneedichte, welche die gemessenen Schneehöhenänderungen betrifft, wird von der mittleren Dichte der Schneeschächte des HEF extrapoliert (Matzi, 2004). Die Zeit der Messungen variiert zwischen Mitte August und Mitte September. Die gewonnenen Daten werden auf das jeweilige hydrologische Jahr mit Hilfe der Daten des HEF in gleicher Höhenstufe extrapoliert. Das digitale Höhenmodell wurde 2003/04 geändert. Die größten Änderungen ereigneten sich an der Zunge und um die Spaltenzone. Diese Änderungen sind noch Folge der Änderung der Oberflächentopographie, die durch den schnellen Vorstoß in den 1980ern erfolgte.

3.1.3 Jamtalferner

Die Bestimmung der Massenbilanz des Jamtalferners basierte auf einem digitalen Höhenmodell von 1969 welches von den Vorarlberger Illkraftwerken zur Verfügung gestellt wurde. Abbildung 3.2 zeigt, dass der Jamtal Ferner eine kurze Zunge im Höhenbereich von etwa 2400 bis 2600 m hat. Bis knapp 2800 m Höhe folgt ein weites, zusammenhängendes Becken, das sich mit kurzen Steilstufen in mehrere Mulden in Kammnähe, rund 3000 m Höhe, erstreckt. Nach 2004/05 wurde das digitale Höhenmodell und die Gletschergrenzen des österreichischen Gletscherinventars, abgeleitet von Orthofotos des österreichischen Gletscherinventars (Lambrecht und Kuhn, 2007) von September 2002 verwendet. Die größten Änderungen ereigneten sich in den untersten Höhenstufen, wo auch die Gletschergrenzen die größten Abweichungen haben.



Abbildung 3.3: Orthofoto Mullwitzkees 1998 mit Gletschergrenzen von 1998 und 2007.

3.1.4 Äußeres Mullwitzkees und Hallstätter Gletscher

Am äußeren Mullwitzkees werden zur Bestimmung der Massenbilanz das digitale Höhenmodell und die Gletschergrenzen des österreichischen Gletscherinventars von 1998 verwendet, wobei die Gletschergrenzen für die ersten Jahre der Massenhaushaltsuntersuchungen (2006/07 und 2007/08) anhand von Fotos und GPS-Messungen angepasst wurde.

Die Abbildungen 3.3 und 3.4 zeigen das Orthofoto Mullwitzkees mit den Gletschergrenzen von 1998 und 2007 und das Orthofoto Hallstätter Gletscher von 2002. Für die Bestimmung der Massenbilanz des Hallstätter Gletschers werden das digitale Höhenmodell und die Gletschergrenzen des Gletscherinventars von 2002 verwendet und anhand von Fotos und GPS-Messungen jährlich angepasst.

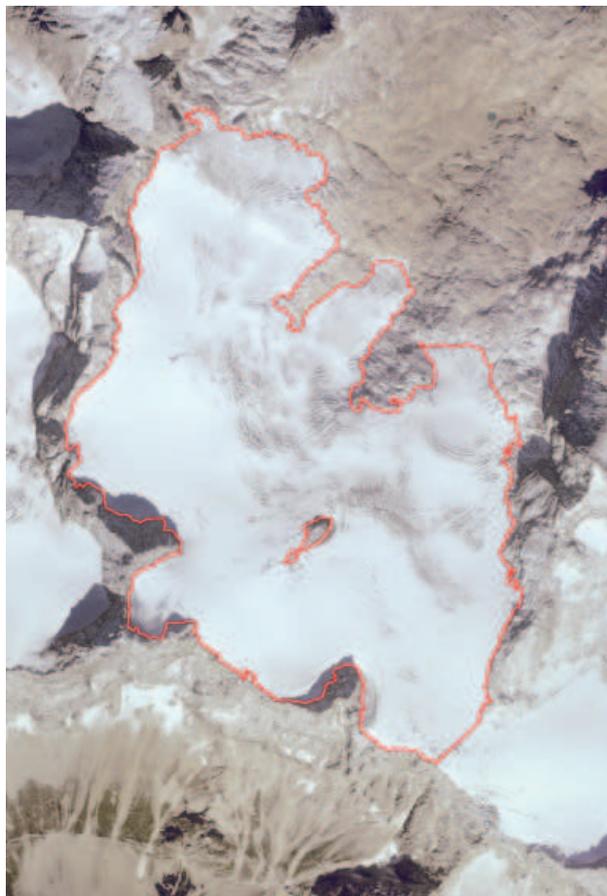


Abbildung 3.4: Orthofoto Hallstätter Gletscher 2002 mit Gletschergrenze.

3.2 Vergleich der Flächen–Höhenverteilung

Die Höhenstufen mit der größten Fläche liegen zwischen 3200 m und 3250 m Seehöhe (21% der Gesamtfläche) am KWF, 3100 m bis 3150 m Seehöhe am HEF (19%), 2900 m bis 3000 m Seehöhe am Jamtalferner (23%), 3200 m bis 3250 m am äußeren Mullwitzkees (12%) und 2600 m bis 2650 m am Hallstätter Gletscher (19%). 55% der Fläche des KWF liegen zwischen 3150 m und 3300 m Seehöhe, 56% der Fläche des HEF liegen zwischen 2900 m und 3200 m Seehöhe, 65% der Fläche des Jamtalfernners liegen zwischen 2800 m und 3000 m, am Mullwitzkees liegen 56% der Fläche zwischen 3000 m und 3300 m Seehöhe und am Hallstätter Gletscher 60% zwischen 2450 m und 2650 m Seehöhe.

4 Massenbilanz

Mit dem sogenannten fixen glaziologischen Haushaltsjahr werden die Bilanzwerte für die Zeit vom 1. Oktober bis zum 30. September des nächsten Jahres bestimmt, unabhängig davon, wann das Ende der Ablation tatsächlich eintrat. Da dieses Ende der Ablation ja in Wirklichkeit an verschiedenen Punkten des Gletschers zu verschiedenen Zeiten eintritt, ist die pragmatische Verwendung des fixen Haushaltsjahrs vorzuziehen.

Es werden folgende Notationen verwendet:

S gesamte Gletscherfläche	S_c Fläche des Akkumulationsgebietes
B Gesamtjahresbilanz	B_c Gesamtbilanz der Akkumulation
b spezifische Massenbilanz	b_c spezifische Bilanz der Akkumulation
S_a Fläche des Ablationsgebietes	wi als Index bedeutet Winter
B_a Gesamtbilanz der Ablation	so als Index bedeutet Sommer
b_a spezifische Bilanz der Ablation	ELA Höhe der Gleichgewichtslinie

In Tabelle 4.1 wurden die Jahreswerte auch nach Flächen mit Netto-Akkumulation S_c und Flächen mit Netto-Ablation S_a getrennt. Die Gesamtbilanzen dieser Flächen sind B_c und B_a , die entsprechenden mittleren spezifischen Bilanzen sind b_c und b_a . Dabei gelten folgende Zusammenhänge:

$$S = S_c + S_a \quad (4.1) \qquad B = B_c + B_a \quad (4.2)$$

Für die spezifischen Bilanzen gelten folgenden Beziehungen:

$$b = b_{wi} + b_{so} \quad (4.3) \qquad b_{so} = b - b_{wi} \quad (4.4)$$

$$b_{wi} = B_{wi}/S \quad (4.5) \qquad b_{so} = B_{so}/S \quad (4.6)$$

$$b = B/S \quad (4.7) \qquad b_c = B_c/S_c \quad (4.8) \qquad b_a = B_a/S_a \quad (4.9)$$

4.1 Übersicht der Massenbilanzen der Jahre 2006/07 und 2007/08

Im folgenden Abschnitt sind die Massenbilanzen der Gletscher einzeln aufgeschlüsselt und in Tabelle 4.1 die Kennzahlen zusammengefasst. Die mittlere Höhe der Gleichgewichtslinie (ELA) wird üblicherweise aus dem Höhenverlauf der spezifischen Jahresbilanz bestimmt wie sie in den Abbildungen 4.2, 4.4, 4.8, 4.11, 4.14, 4.16, 4.18, 4.21, 4.24, 4.26 wiedergegeben sind.

Vergleich der Kennzahlen der Massenbilanz 2006/07						
Jahresbilanz	HEF	KWF	Jamtalferner	äußeres Mullwitzkees	Hallstätter Gletscher	Einheit
S _c =	0.03	0.82	0.19	0.64	1.50	km ²
B _c =	0.004	0.21	0.02	0.44	1.68	10 ⁶ m ³
b _c =	133	256	125	682	1125	mm
S _a =	7.18	3.00	3.24	2.44	1.65	km ²
B _a =	-12.96	-3.40	-4.96	-4.90	-2.86	10 ⁶ m ³
b _a =	-1805	-1134	-1532	-2400	-1741	mm
S=	7.21	3.82	3.43	3.08	3.14	km ²
B=	-12.96	-3.19	-4.94	-4.46	-1.12	10 ⁶ m ³
b=	-1798	-836	-1439	-1447	-376	mm
S ₀ /S=	0.00	0.22	0.06	0.21	0.48	
ELA=	>Gipfelniveau	>Gipfelniveau	>Gipfelniveau	3163	2583	m
Winterbilanz						
B _{wi} =			2.72	2.08	5.97	10 ⁶ m ³
b _{wi} =			790	674	1899	mm
Sommerbilanz						
B _{so} =			-7.66	-6.54	-7.15	10 ⁶ m ³
b _{so} =			-2230	-2121	-2275	mm
Vergleich der Kennzahlen der Massenbilanzen 2007/08						
Jahresbilanz	HEF	KWF	Jamtalferner	äußeres Mullwitzkees	Hallstätter Gletscher	Einheit
S _c =	1.55	1.57	0.28	1.22	1.49	km ²
B _c =	0.35	0.30	0.06	0.93	0.60	10 ⁶ m ³
b _c =	229	190	226	764	400.00	mm
S _a =	5.55	2.21	3.03	1.86	1.55	km ²
B _a =	-9.13	-1.98	-3.31	-2.91	-2.72	10 ⁶ m ³
b _a =	-1644	-896	-1093	-1562	-1756	mm
S=	7.10	3.78	3.31	3.08	3.04	km ²
B=	-8.77	-1.68	-3.25	-1.98	-2.13	10 ⁶ m ³
b=	-1235	-444	-981	-642	-700	mm
S ₀ /S=	0.22	0.42	0.09	0.40	0.49	
ELA=	3276	3224	>Gipfelniveau	3115	2592	m
Winterbilanz						
B _{wi} =			5.09	4.35	7.82	10 ⁶ m ³
b _{wi} =			1480	1410	2570	mm
Sommerbilanz						
B _{so} =			-8.34	-6.33	-9.94	10 ⁶ m ³
b _{so} =			-2560	-2052	-3270	mm

Tabelle 4.1: Vergleich der Kennzahlen der Massenbilanzjahre 2006/07 und 2007/08 von Jamtalferner, HEF, KWF, Mullwitzkees und Hallstätter Gletscher. Volumina und spezifische Bilanzen werden als Wasseräquivalent angegeben.

4.2 Das hydrologische Jahr 2006/07

4.2.1 Hintereisferner und Kesselwandferner

Der Massenhaushalt 2006/07 war auf beiden Gletschern weitaus negativer als das langjährige Mittel (1953-2006 für HEF und 1962-2006 für KWF). Am HEF entsprach die spezifische Bilanz mehr als dem dreifachen des langjährigen Verlustes. Die Gleichgewichtslinie lag am HEF über Gipfelniveau und somit in jedem Fall fast 1000 m über dem langjährigen Mittel. Es waren kaum Rücklagen vorhanden. Die Schneefälle im Spätsommer konnten den Verlust im August an den meisten Stellen nicht ausgleichen, sodass das nur sehr kleine Akkumulationsflächen ausgewiesen werden konnten. Nach dem Einbrechen des Gletschertores bildete sich im Zungenbereich eine schuttbedeckte Mulde, in der es immer wieder zu Einbrüchen im darunterliegenden Toteiskörper kommt. An der Zunge ist die Gletschergrenze nicht eindeutig feststellbar. Durch von beiden Seiten, besonders aber an der orografisch rechten Seite auf das Eis rutschenden Schutt wird der schutfreie Eisbereich immer schmaler. Im Bereich Pegel 66 und oberhalb bildet sich eine Eintiefung, da vom fast völlig abgerissenen Bereich im Hintern Eis kein Eis mehr zufließt. Auf der Flanke zur Langtaufererjochspitze werden einige Felsinseln frei, der darunterliegende Bereich sinkt stark ein. Auf der Zunge im Bereich des Pegels L9 bilden sich sowohl in Längs als auch in Querrichtung starke Wellen mit einigen Metern Höhe. Im Bereich des ehemaligen Zuflusses vom Langtaufererjochferner füllt sich die entstandene Senke langsam wieder, auch hier sinkt die Oberfläche stark ein. Oberhalb der Rinne im Bereich des Totalisators Rofenberg senkt sich die Oberkante der Seitenmoräne, hier bildet sich ein senkrechter Abbruch von 2 m bis 3 m Höhe. Wo von der Seite Bäche zufließen, bilden sich durch die sehr geringen Fließgeschwindigkeiten Mulden in der Gletscheroberfläche. An der Zunge waren 2006/07 auffallend wenige Spalten. Die Ergebnisse der Messungen sind in Abbildung 4.1 in Form von Isolinien der Wasserwerte dargestellt, die daraus gewonnenen Haushaltswerte sind in Tabelle 4.3 dargestellt.

Beim KWF war die Gleichgewichtslinie über Gipfelniveau. Im Sommer waren am KWF fast keine Rücklagen mehr vorhanden, im Gegensatz zum HEF konnten die Neuschneefälle im Herbst die Ablation im Sommer aber kompensieren. Die Felsfenster im Eisbruch haben sich stark vergrößert, in den nächsten Jahren ist eine Abtrennung der Zunge zu erwarten. Die Ergebnisse der Messungen sind in Abbildung 4.3 in Form von Isolinien der Wasserwerte dargestellt, die daraus gewonnenen Haushaltswerte sind in Tabelle 4.5 dargestellt.

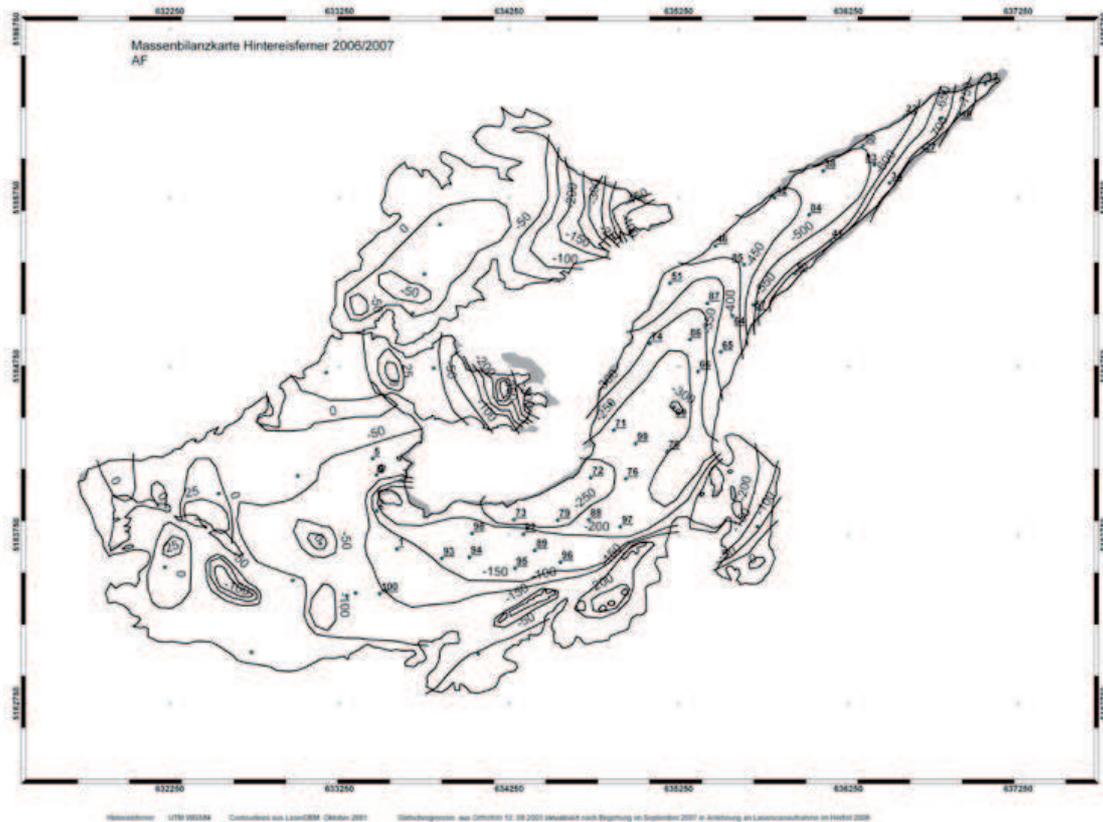


Abbildung 4.1: Isolinien des spezifischen Massenhaushaltes am HEF in cm Wasseräquivalent, gültig für den 30.9.2007. Die grauen Flächen waren im Vorjahr (2005/06) noch vergletschert.

Pegel	WW in cm	Pegel	WW in cm	Pegel	WW in cm
1	-192	50	-609	L10/82	-638
2	-158	51	-386	L9/83	-513
4	-78	57	-495	L8/84	-474
5	-78	61	-333	L7/85	-405
6	-78	64	-388	L6/86	-268
12	-757	65	-378	L5/87	-313
19	-704	66	-257	L4/88	-245
22	-520	68	-288	L3/89	-192
27	-667	69	-305	92	-179
30	-501	70	-251	95	-210
34	-638	71	-212	96	-188
38	-493	72	-280	97	-232
41	-549	73	-267	98	-194
42	-444	74	-290	B_BE	0
46	-428	79	-326	B-TE	-101

Tabelle 4.2: Wasserwerte der Ablation und Akkumulation an den Pegeln am HEF vom 1.10.2006 bis 30.9.2007.

Höhenstufe			Fläche	Volumen	Spezifische Bilanz
m			km ²	10 ³ m ³	mm
3750	-	3700	0.005	-6.1	-1250
3700	-	3650	0.023	-22.0	-967
3650	-	3600	0.028	-22.5	-798
3600	-	3550	0.019	-14.6	-765
3550	-	3500	0.021	-18.4	-855
3500	-	3450	0.081	-61.0	-751
3450	-	3400	0.129	-87.1	-673
3400	-	3350	0.258	-127.9	-495
3350	-	3300	0.388	-208.0	-537
3300	-	3250	0.422	-296.2	-702
3250	-	3200	0.467	-376.8	-807
3200	-	3150	0.595	-484.6	-815
3150	-	3100	0.695	-637.7	-917
3100	-	3050	0.696	-809.4	-1164
3050	-	3000	0.530	-935.0	-1764
3000	-	2950	0.465	-936.8	-2014
2950	-	2900	0.475	-1032.1	-2174
2900	-	2850	0.447	-1114.6	-2495
2850	-	2800	0.243	-626.6	-2577
2800	-	2750	0.402	-1159.7	-2883
2750	-	2700	0.272	-1078.8	-3969
2700	-	2650	0.210	-1015.2	-4826
2650	-	2600	0.188	-980.6	-5207
2600	-	2550	0.102	-591.5	-5796
2550	-	2500	0.040	-270.9	-6764
2500	-	2450	0.005	-41.5	-7750

Tabelle 4.3: Die spezifische Massenbilanz am HEF 2006/07 nach Höhenstufen und Jahreszeiten. Die spezifischen Bilanzen sind als Wasseräquivalent angegeben: 1 mm entspricht 1 kg m⁻². Flächen nach der Karte Oktober 2006.

Pegel	Höhe in m	WW in cm
L2=A4	3294	72
L3	3255	53
L4=B7	3255	28
L5	3178	-18
L6=C5	3130	-48
L7	3080	-90
L7_03	3080	-104
L8=D4	3039	-214
D4	3036	-208
L10=E2	2802	-562
9	3200	-623

Tabelle 4.4: Wasserwerte der Ablation und Akkumulation an den Pegeln am KWF vom 1.10.2006 bis 30.9.2007.

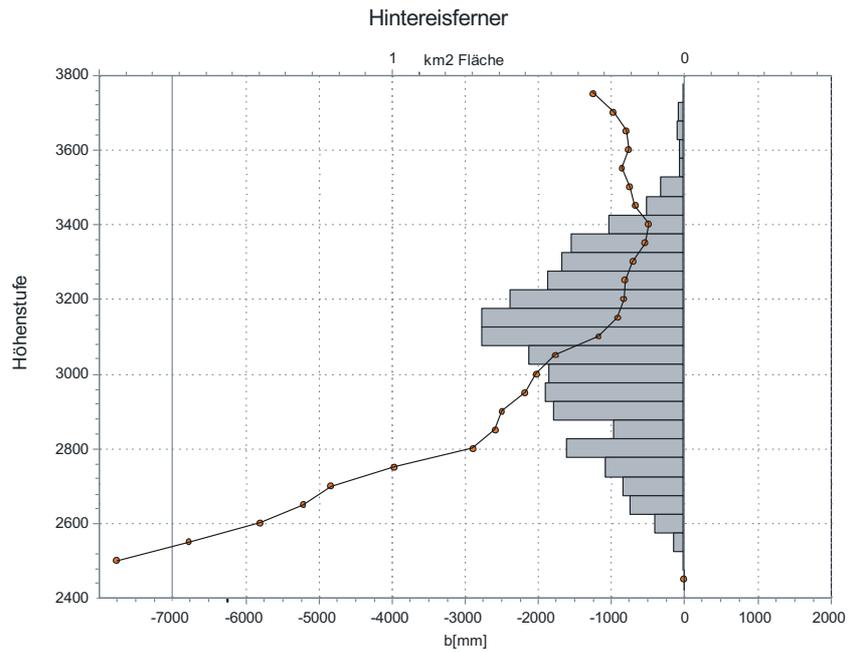


Abbildung 4.2: Die Verteilung der Flächen des HEF (Balken) und der Flächenmittel der spezifischen Jahresbilanz b (1.10.06-30.9.07 Punkte) für 50 m Höhenstufen.

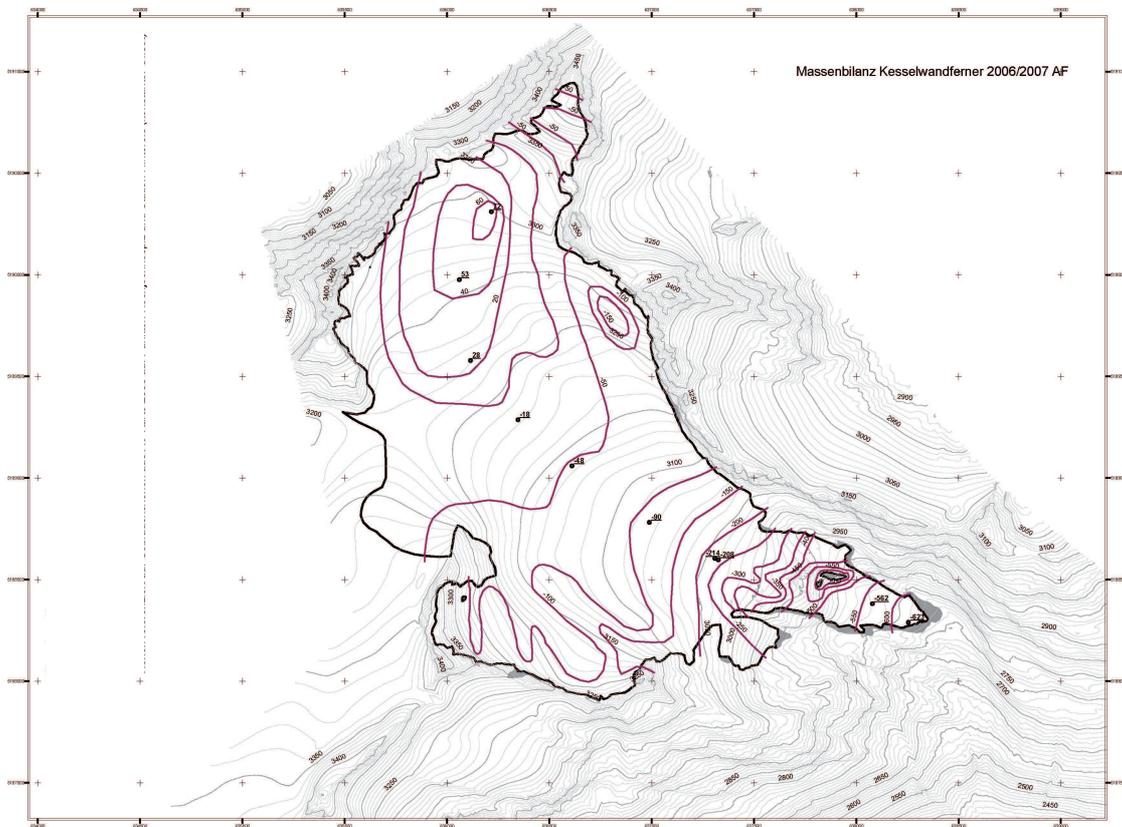


Abbildung 4.3: Isolinien des spezifischen Massenhaushaltes am KWF in cm Wasseräquivalent, gültig für den 30.9.2007.

Höhenstufe		Fläche	Gesamtbilanz	Spezifische Bilanz
m		km ²	10 ³ m ³	mm
3500	-	3450	0.021	-10.677
3450	-	3400	0.026	-8.698
3400	-	3350	0.046	-36.742
3350	-	3300	0.258	-21.897
3300	-	3250	0.602	-22.863
3250	-	3200	0.830	-231.284
3200	-	3150	0.700	-366.248
3150	-	3100	0.516	-431.075
3100	-	3050	0.399	-509.412
3050	-	3000	0.151	-382.694
3000	-	2950	0.106	-361.430
2950	-	2900	0.060	-254.115
2900	-	2850	0.023	-116.202
2850	-	2800	0.063	-351.319
2800	-	2750	0.014	-88.680

Tabelle 4.5: Die spezifische Massenbilanz am KWF 2006/07 nach Höhenstufen und Jahreszeiten. Die spezifischen Bilanzen sind als Wasseräquivalent angegeben: 1 mm entspricht 1 kg m⁻². Flächen nach neuer Karte Oktober 2006.

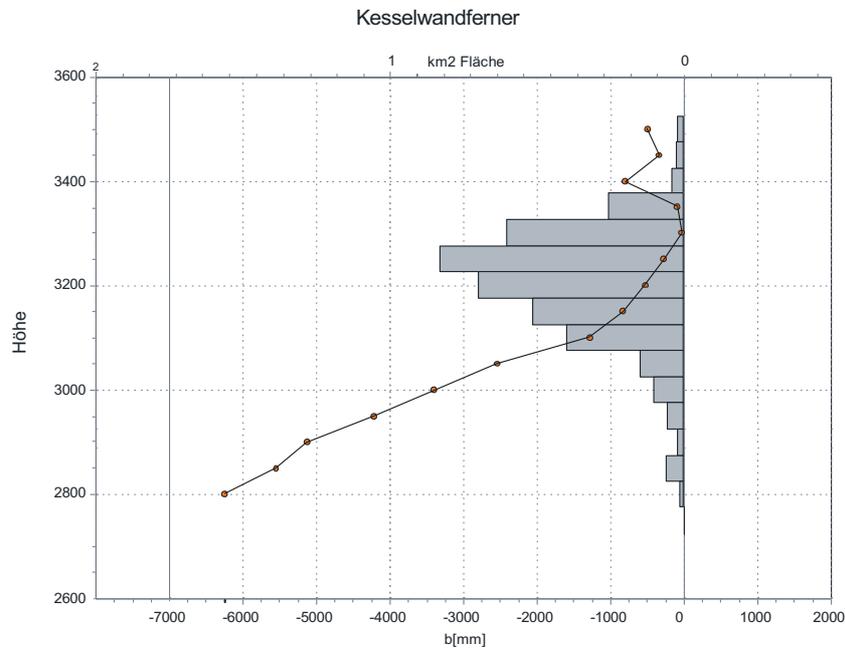


Abbildung 4.4: Die Verteilung der Flächen des KWF (Balken) und der Flächenmittel der spezifischen Jahresbilanz b (1.10.06-30.9.07 Punkte), für 50 m Höhenstufen.

4.2.2 Jamtalferner

Die Winterbilanz Vom 26. bis 27.4.2007 wurde die Frühjahrsbegehung zur Bestimmung der winterlichen Schneerücklage durchgeführt. Insgesamt wurden vier Schächte in den Firnbecken bis zur Gletscheroberfläche des vergangenen Herbstes gegraben. Zwischen den Schächten und im Zungenbereich des Gletschers wurde im Abstand von 300 Schritten die Schneetiefe sondiert. Abbildung 4.5 gibt die Lage der Schächte wieder, Tabelle 4.6 ihre Tiefe und Dichte sowie den Wasserwert. Die Integration dieser Werte über die einzelnen Höhenstufen ergibt einen Wasserwert von $B_{wi} = 2,71 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ für die gesamte Winterbilanz. Das entspricht umgerechnet auf die Fläche einer mittleren spezifischen Winterbilanz von $b_{wi} = 790 \text{ mm}$.

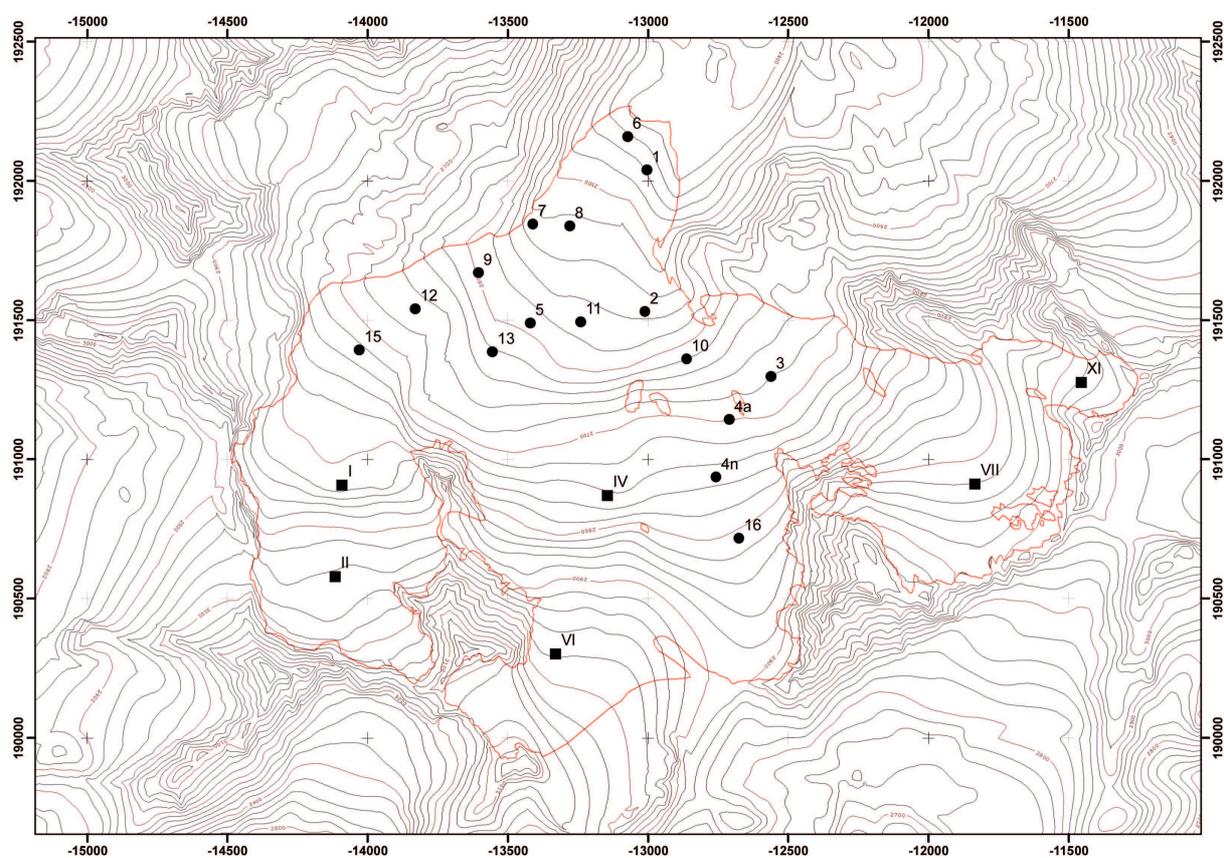


Abbildung 4.5: Lage der Schneeschächte (Quadrate) und Pegel (Punkte) am Jamtalferner im April 2007. Die Messergebnisse sind in Tabelle 4.6 zusammengefasst.

Schacht	Seehöhe	Tiefe	Dichte	Wasserwert
	m	cm	kg m^{-3}	mm
II	2920	240	450	1080
VI	2960	188	369	690
VII	2920	176	401	710
XI	3050	166	396	660

Tabelle 4.6: Tiefe, Dichte und Wasserwerte der Schneeschächte vom April 2007 am Jamtalferner.

Höhenstufe	Fläche	Bilanz	Wasserwert
m	km ²	10 ³ m ³	mm
2400 - 2500	0.080	63	790
2500 - 2600	0.332	253	760
2600 - 2700	0.573	458	800
2700 - 2800	0.707	591	840
2800 - 2900	0.705	561	800
2900 - 3000	0.764	586	770
3000 - 3100	0.260	198	760
3100 - 3200	0.010	8	760
Summe	3.431	2719	790

Tabelle 4.7: Winterbilanz des Jamtalferners nach Höhenstufen. Die Werte gelten für die Zeit vom 1. Oktober 2006 bis 30. April 2007.

Die Jahresbilanz des Jamtalferners Die Jahresbilanz wird in ähnlicher Weise errechnet, nur kommt zu den Schneeschächten im Akkumulationsgebiet noch die Messung des Eisverlustes mit Ablationspegeln im Zehrgebiet hinzu. Die Ablationspegel wurden ursprünglich im Herbst 1988 eingebohrt, in den Folgejahren ersetzt und nachgebohrt und während des Jahres 2007 mehrmals kontrolliert, die Herbstbegehung fand vom 21. bis 22. September 2007 statt. Abbildung 4.6 zeigt den zeitlichen Verlauf der Ablation im Jahre 2007 bei den Pegeln 2, 40, 6, 9, 12 in cm Eis.

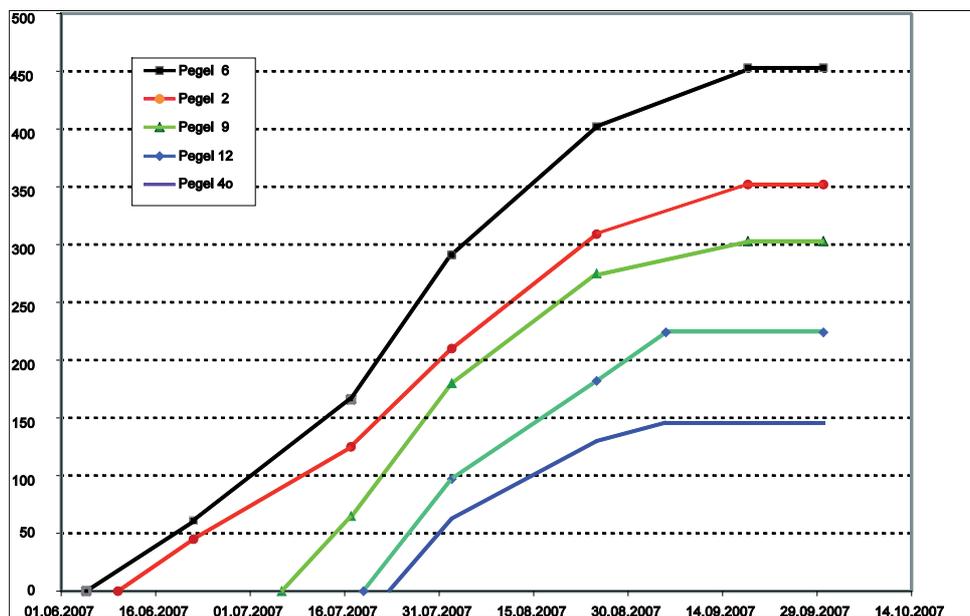


Abbildung 4.6: Zeitlicher Verlauf der Ablation 2007 an den Pegeln 6, 2, 9, 12, 40 am Jamtalferner in cm Eis.

Die Lage der Ablationspegel und der Schneeschächte ist in Abbildung 4.5 wiedergegeben, die Jahres Ablations Werte der Pegel in mm Wasser in Tabelle 4.8, die Jahres Akkumulations Werte der Schächte in Tabelle 4.9.

Das Ergebnis dieser Messungen ist in Abbildung 4.7 in Form von Isolinien der Wasserwerte dargestellt, die daraus gewonnenen Haushaltswerte sind in Tabelle 4.10 dargestellt.

Pegel Nr.	Wasserwert mm	Pegel Nr.	Wasserwert mm
1	-3830	8	-3190
2	-3170	9	-2730
3	-2200	10	-2200
4 alt	-1310	11	-2570
4 neu	-2090	12	-1940
5	-2820	13	-2280
6	-4080	15	-1580
7	-3210	16	-1370
		17	-3000

Tabelle 4.8: Wasserwerte der Ablation an den Pegeln am Jamtalferner vom 1.10.2006 bis 30.9.2007.

Schacht	Seehöhe m	Tiefe cm	Dichte kg/m ³	Wasserwert mm
II	2920	52	333	170

Tabelle 4.9: Wasserwert des Schneeschachts am Jamtalferner. Der Wert entspricht der Jahresrücklage 1.10.2006-30.9.2007.

Die Sommerbilanz wurde als Differenz zwischen Jahreswert und Winterwert berechnet.

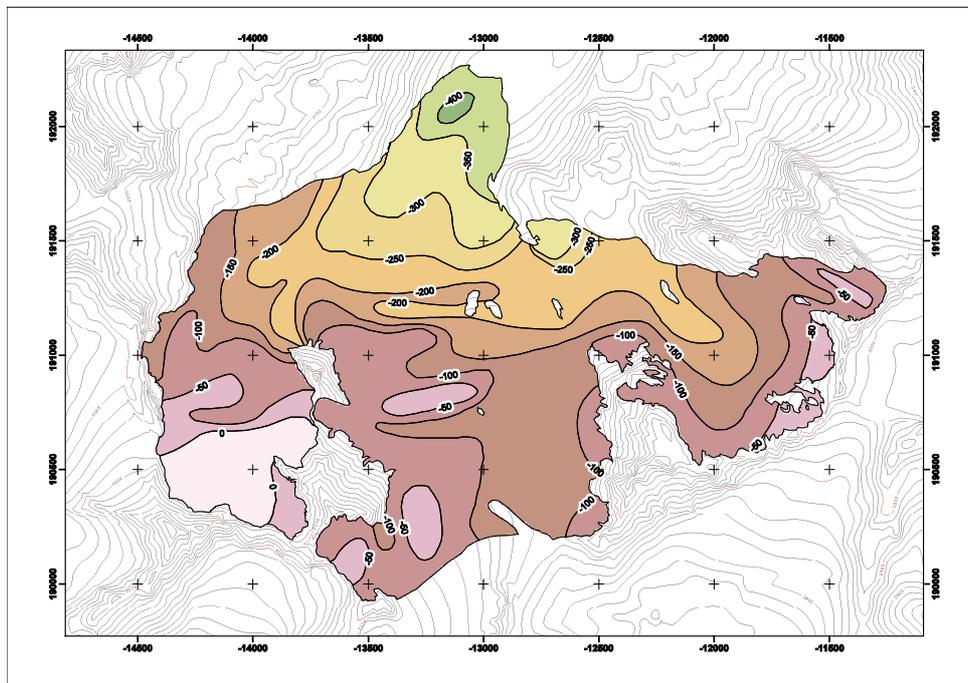


Abbildung 4.7: Isolinien des spezifischen Massenhaushaltes am Jamtalferner in mm Wasseräquivalent, gültig für den 30.9.2007.

Höhenstufe	Fläche	Gesamt-Bilanz	spezifische Bilanz		
			2006/07	Winter	Sommer
			mm	mm	mm
	km ²	10 ³ m ³			
2400 - 2500	0.080	-333	-4160	790	-4950
2500 - 2600	0.332	-991	-2980	760	-3740
2600 - 2700	0.573	-1270	-2210	800	-3010
2700 - 2800	0.707	-947	-1340	840	-2180
2800 - 2900	0.705	-772	-1090	800	-1890
2900 - 3000	0.764	-472	-620	770	-1390
3000 - 3100	0.260	-148	-570	760	-1330
3100 - 3200	0.010	-7	-750	760	-1510
Summe	3.431	-4940	-1440	790	-2230

Tabelle 4.10: Die spezifische Massenbilanz am Jamtalferner 2006/07 nach Höhenstufen und Jahreszeiten. Die spezifischen Bilanzen sind als Wasseräquivalent angegeben: 1 mm entspricht 1 kg m⁻². Flächen nach neuer Karte 2002.

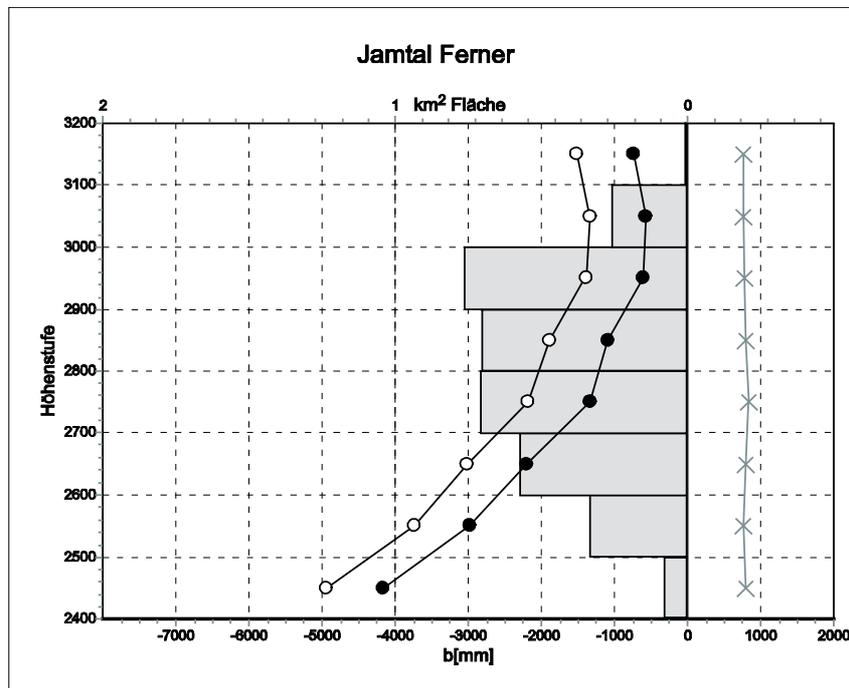


Abbildung 4.8: Die Verteilung der Flächen des Jamtalferners (Balken) und der Flächenmittel der spezifischen Jahresbilanz b (1.10.06-30.9.07 Punkte), der Winterbilanz b_{wi} (1.10.06 - 30.4.07 Kreuze) und der Sommerbilanz b_{so} (1.5.-30.9.07 Kreise) für 100 m Höhenstufen.

4.2.3 Äußeres Mullwitzkees

Winterbilanz Um die Winterbilanz zu bestimmen, wird aus der ermittelten Dichte und Tiefe der Frühjahrsschächte der Wasserwert berechnet. Die Schneehöhe der Sondierungen wird ebenfalls mit der mittleren Dichte der Schächte in Wasseräquivalent umgerechnet. Aus Tabelle 4.11 sind die Wasserwerte und die mittlere Dichte der Frühjahrsschächte zu entnehmen, bzw. deren Lage aus Abbildung 4.9.

Schachtnummer	Seehöhe [m]	Tiefe [m]	Dichte [kg/m ³]	Wasserwert [mm]
1	3125	1,5	464	697
2	3220	2,25	491	1104
3	3190	4,06	533	2164
4	3335	1,25	439	548
5	3400	0,26	389	101
6	3305	1,55	477	741

Tabelle 4.11: Dichte, Tiefe und Wasserwert der Schächte der Frühjahrsbegehung 2007 am Mullwitzkees.

Höhenstufe	Fläche [km ²]	Bilanz [10 ³ m ³]	Wasserwert [mm]
2675	0,008	1	88
2725	0,053	4	81
2775	0,074	15	200
2825	0,141	55	392
2875	0,221	86	390
2925	0,273	137	502
2975	0,262	173	661
3025	0,289	207	716
3075	0,259	202	778
3125	0,232	206	888
3175	0,294	303	1031
3225	0,370	333	899
3275	0,293	218	745
3325	0,187	111	596
3375	0,105	26	245
3425	0,022	2	100
Gesamt	3,083	2079	674

Tabelle 4.12: Flächen- und Winterbilanz-Höhenverteilung und Mittelwerte der Höhenstufen am Mullwitzkees.

Aus Tabelle 4.12 sind die Werte der Winterbilanz, gültig von 01.10.2006 bis 30.04.2007, zu entnehmen. Die Winterbilanz $B_{wi} = 2,08 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ der einzelnen Höhenstufen wird durch Integration über die jeweilige Fläche berechnet. Das entspricht, über die Gesamtfläche, einer spezifischen Winterbilanz von $b_{wi} = 674 \text{ mm}$.

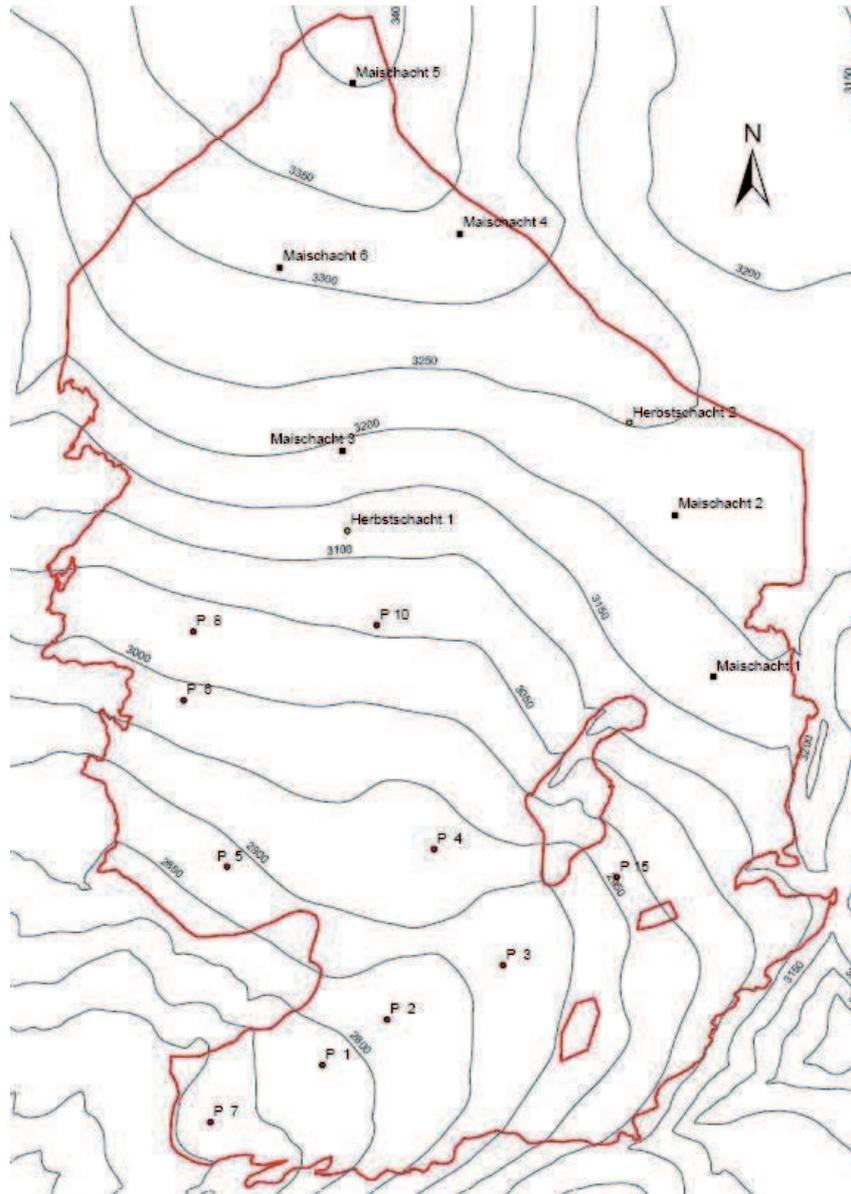


Abbildung 4.9: Lage der Pegel(P) der Frühjahrs- (Maischächte) und Herbstschächte am Mullwitzkees mit Nummern der Schächte im Frühjahr und Herbst 2007

Jahresbilanzbilanz Aus Tabelle 4.13 sind die Wasserwerte und die mittlere Dichte der Herbstschächte und aus Tabelle 4.14 die Wasserwerte der einzelnen Pegel zu entnehmen, bzw. deren Lage aus Abbildung 4.9.

Schachtnummer	Seehöhe [m]	Tiefe [m]	Dichte [kg/m ³]	Wasserwert [mm]
1	3125	1,6	546	874
2	3250	2,66	516	1372

Tabelle 4.13: Wasserwert der Herbstschächte am Mullwitzkees 2007.

Pegelnummer	Wasserwert [mm]	Pegelnummer	Wasserwert [mm]
1	-3130	6	-2120
2	-1820	7	-4220
3	-1860	8	-1630
4	-3650	10	-1700
5	-4100	15	-4400

Tabelle 4.14: Wasserwert der Ablation an den Pegeln am Mullwitzkees 2007.

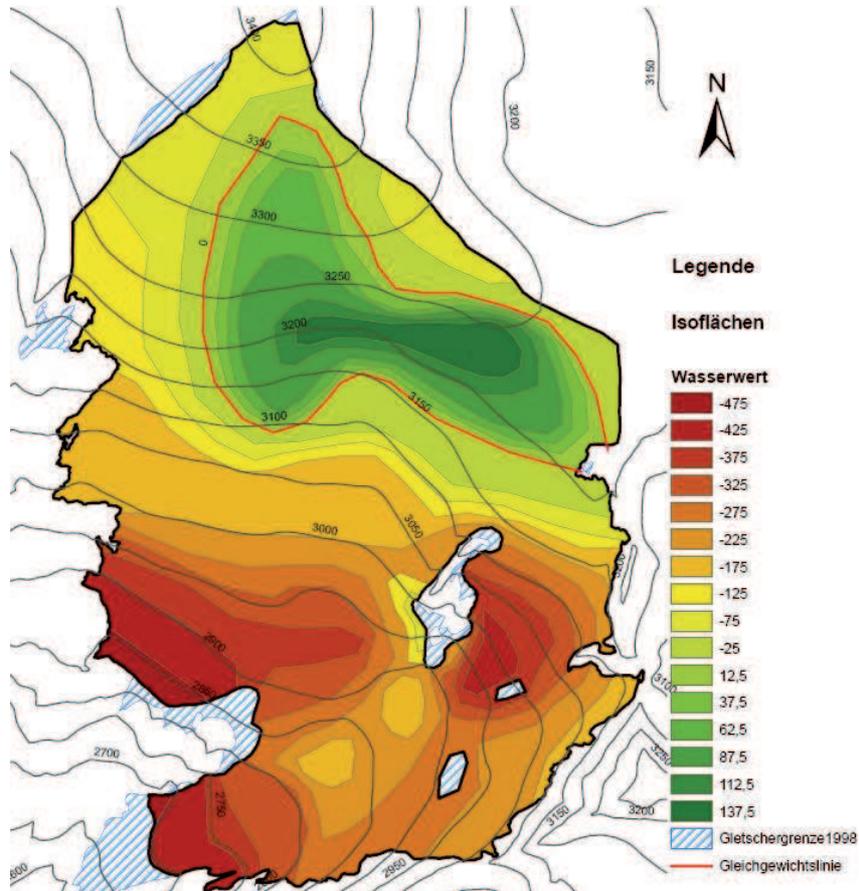


Abbildung 4.10: Flächen gleichen Wasserwertes der Jahresbilanz am Mullwitzkees gültig für den 30.09.2007 und Gletschergrenze von 1998

Zusätzlich werden im Rahmen der Herbstbegehung Sondierungen durchgeführt, um die Verteilung der Altschneedecke zu bestimmen. Mit Hilfe von Fotos, den Sondierungen und den einzelnen Wasserwerten, wird eine Karte, Abbildung 4.10 mit Isolinien des Wasserwertes erstellt und die Jahresbilanz berechnet. Das Gebiet der Rücklage (Grün) ist bestimmt durch die Schneeverfrachtung während des Jahres. Da der Wind hauptsächlich, und besonders im Winter aus Nord bzw. Nord-West weht, ist es nicht verwunderlich, dass die größten Schneehöhen in den Mulden bzw. im Lee der überströmten Kanten gefunden wurden. Die rote Linie markiert den Übergang zwischen Akkumulations- und Ablationsgebiet. Das Maximum der Ablation wurde am Zungenende bzw. im steilsten Gebiet des

Höhenstufe	Fläche [km ²]	Bilanz [10 ³ m ³]	Wasserwert [mm]
2675	0,008	-33	-4138
2725	0,053	-217	-4091
2775	0,074	-252	-3409
2825	0,141	-393	-2784
2875	0,221	-678	-3067
2925	0,273	-893	-3271
2975	0,262	-659	-2516
3025	0,289	-621	-2148
3075	0,259	-470	-1815
3125	0,232	-220	-948
3175	0,294	-39	-131
3225	0,370	147	397
3275	0,293	-48	-164
3325	0,187	-31	-165
3375	0,105	-38	-362
3425	0,022	-17	-759
Gesamt	3,083	-4462	-1447

Tabelle 4.15: Flächen- und Jahresbilanz-Höhenverteilung am Mullwitzkees und Mittelwerte der Höhenstufen.

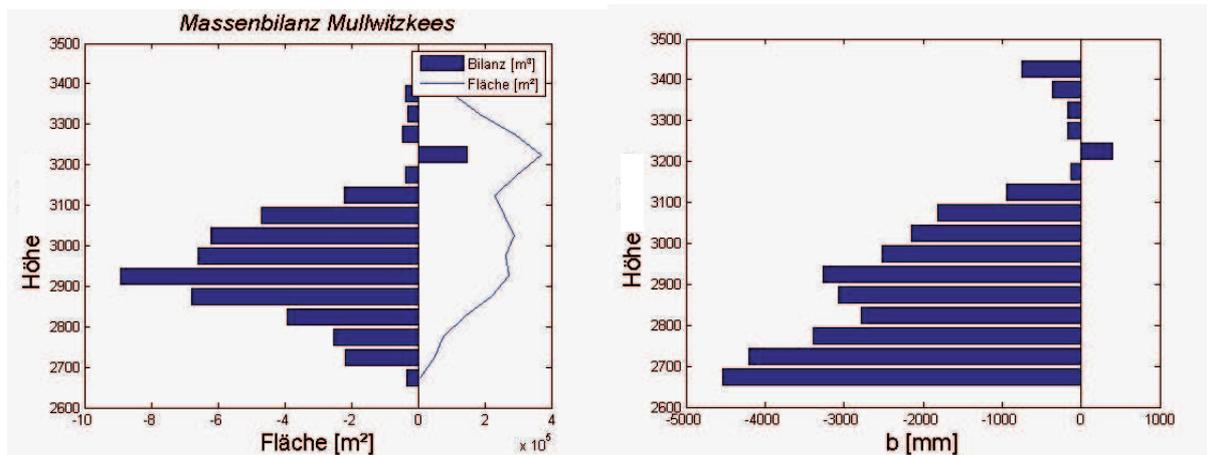


Abbildung 4.11: Verteilung der Gesamt- und spezifischen Massenbilanz der Höhenstufen am Mullwitzkees 2007

Gletschers oberhalb der Zunge gefunden. Aus Tabelle 4.15 sind die Werte der Jahresbilanz zu entnehmen.

4.2.4 Hallstätter Gletscher

Winterbilanz Für die Winterbilanz wird zunächst der Wasserwert der Schneedecke an den Schachtpositionen aus dem Dichteprofil ermittelt. Dieser wird dann anhand von Sondierungen unter Annahme der mittleren Dichte der Schächte über den Gletscher interpoliert. Aus Tabelle 4.16 gehen Dichte und Wasserwert der Schächte hervor.

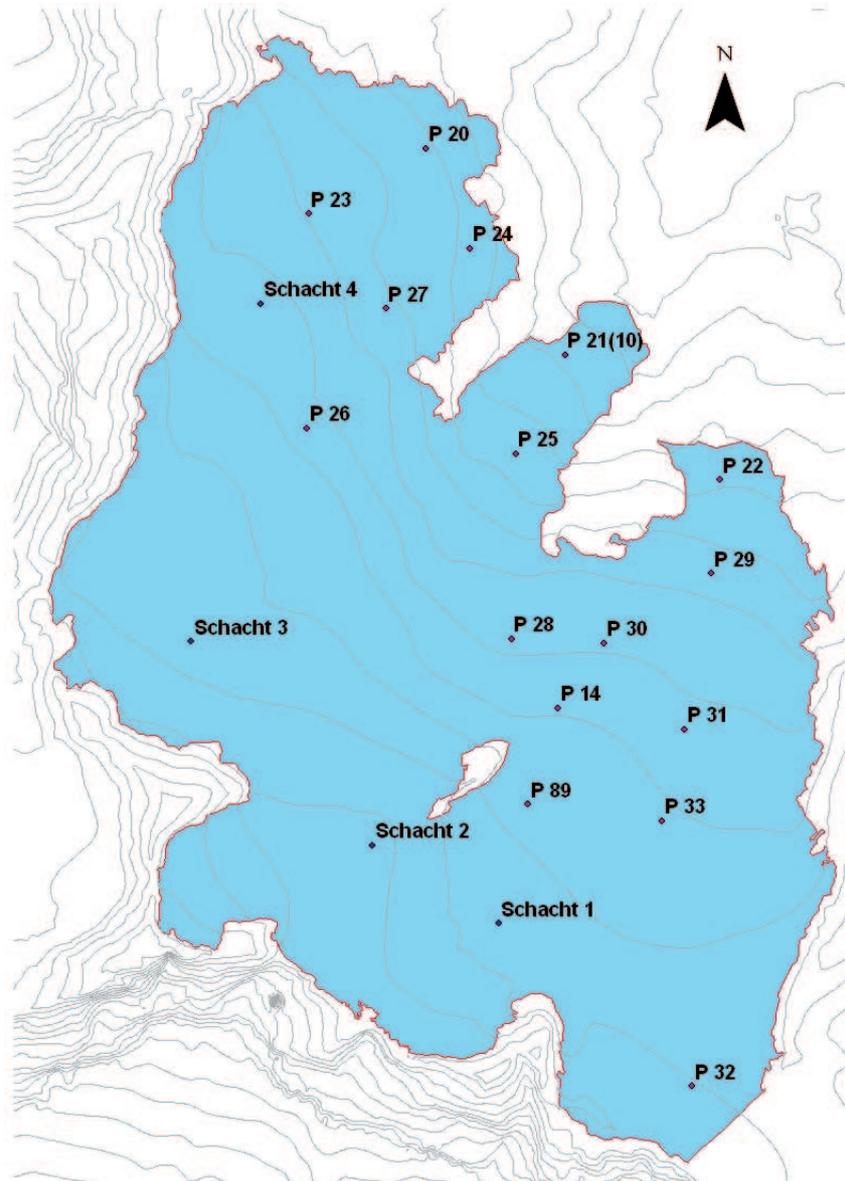


Abbildung 4.12: Positionen der Pegel und Schächte am Hallstätter Gletscher 2006/07.

Tabelle 4.17 zeigt die Werte der Winterbilanz nach Höhenstufen, gültig von 01.10.2006 bis 30.04.2007. Die Winterbilanz $B_{wi} = 5,96 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ wird durch Integration über die jeweiligen Flächen der Höhenstufen berechnet. Das entspricht, über die Gesamtfläche, einer spezifischen Winterbilanz von $b_{wi} = 1899 \text{ mm}$.

Schachtnummer	Seehöhe [m]	Tiefe [m]	Dichte [kg/m ³]	Wasserwert [mm]
1	2635	5,45	484	2521
2	2720	4,48	457	1937
3	2630	5,66	495	2632
4	2515	7,36	487	3432

Tabelle 4.16: Dichte, Tiefe und Wasserwert der Schächte der Frühjahrsbegehung am Hallstätter Gletscher 2007.

Höhenstufe m	Fläche km ²	Bilanz 10 ³ m ³	Wasserwert mm
2150 - 2200	0,015	4	250
2200 - 2250	0,028	7	250
2250 - 2300	0,057	24	425
2300 - 2350	0,126	76	606
2350 - 2400	0,212	171	805
2400 - 2450	0,259	291	1124
2450 - 2500	0,366	668	1825
2500 - 2550	0,385	808	2099
2550 - 2600	0,486	916	1883
2600 - 2650	0,607	1397	2301
2650 - 2700	0,346	887	2561
2700 - 2750	0,177	468	2646
2750 - 2800	0,036	118	3230
2800 - 2850	0,030	96	3250
3850 - 2900	0,011	36	3250
gesamt	3,141	5966	1899

Tabelle 4.17: Flächen- und Winterbilanz-Höhenverteilung am Hallstätter Gletscher und Mittelwerte der Höhenstufen.

Jahresbilanz Für die Jahresbilanz werden zusätzlich zu den Schächten die Messwerte der Ablation an den Pegeln hinzugezogen (Tabelle 4.18). Mit den Messungen zur Herbstbegehung am Ende des hydrologischen Jahres wird erneut der Wasserwert an den Schachtpositionen ermittelt (Tabelle 4.19). An den Pegeln wird anhand des über die Ablationssaison freigelegten Endes unter Verwendung der mittleren Dichte von Eis $\rho = 900 \text{ kgm}^{-3}$ der Massenverlust an der Eisoberfläche berechnet.

Aus den Sondierungen der Altschneedicke, Fotos, Webcam-Bildern und den Wasserwerten an Schächten und Pegeln wird eine Karte mit Isoflächen gleicher spezifischer Massenbilanz erstellt. Damit werden über die Flächen- und Höhenverteilung die Jahresbilanz sowie die Bilanz der einzelnen Höhenstufen berechnet. Abbildung 4.13 zeigt das Akkumulationsgebiet (grün) und das Ablationsgebiet (gelb/rot). Diese werden von der Nulllinie getrennt.

Am Hallstätter Gletscher sind diese zwei Gebiete annähernd gleichgroß. Das Akkumulationsgebiet ist sehr ausgeprägt, da der Gletscher im oberen Gebiet von Felsen umgeben

Pegelnummer	Wasserwert [mm]	Pegelnummer	Wasserwert [mm]
P 33	-1475	P 25	-2317
P 31	-1850	P 21(10)	-4634
P 30	-860	P 24	-3093
P 29	-2389	P 20	-3345
P 22	-4785	P 27	-2353
P 14	-1510		

Tabelle 4.18: Wasserwert der Ablation an den Pegeln am Hallstätter Gletscher 2007.

Schachtnummer	Seehöhe [m]	Tiefe [m]	Dichte [kg/m ³]	Wasserwert [mm]
1	2635	2,41	608	1469
2	2720	2,79	604	1692
3	2630	3,10	500	1165
4	2515	4,14	480	1470

Tabelle 4.19: Wasserwert der Herbstschächte am Hallstätter Gletscher 2007

Höhenstufe m	Fläche km ²	Bilanz 10 ³ m ³	Wasserwert mm
2150 - 2200	0,015	-84	-5528
2200 - 2250	0,028	-136,1	-4805
2250 - 2300	0,057	-197	-3477
2300 - 2350	0,126	-411,7	-3271
2350 - 2400	0,212	-569,6	-2691
2400 - 2450	0,259	-464,4	-1793
2450 - 2500	0,366	-362,2	-990
2500 - 2550	0,385	-259,8	-675
2550 - 2600	0,486	-114,9	-236
2600 - 2650	0,607	532,4	877
2650 - 2700	0,346	476,2	1375
2700 - 2750	0,177	284,2	1608
2750 - 2800	0,036	59,2	1625
2800 - 2850	0,03	48,1	1625
3850 - 2900	0,011	17,9	1625
gesamt	3,141	-1181,7	-376

Tabelle 4.20: Flächen- und Höhenverteilung der Jahresbilanz am Hallstätter Gletscher 2006/07

ist. Diese schützen zu einem vor Windverfrachtung und erzeugen je nach Anströmung zusätzlich Lee- bzw. Staueffekte, welche sich positiv auf den Aufbau der Schneedecke auswirken. Auch tragen die Wände mit Lawinen und Schneerutschen direkt zur Akkumulation bei. Zudem schützen sie im Sommer besonders am späteren Nachmittag vor dem Strahlungseinfluss der Sonne. Somit lag das ganze obere Plateau des Gletschers im Haus-

Massenbilanz Hallstätter Gletscher

01.10.2006 - 30.09.2007

erstellt von
Kay Helfricht
Institut für Meteorologie und Geophysik
Universität Innsbruck
den 10.12.2007

Legende

-  Gletschergrenze 2002
-  Gleichgewichtslinie

Massenbilanz Isoflächen

Wasserwert (cm)

-  -57,5
-  -52,5
-  -47,5
-  -42,5
-  -37,5
-  -32,5
-  -27,5
-  -22,5
-  -17,5
-  -12,5
-  -7,5
-  -2,5
-  12,5
-  37,5
-  62,5
-  87,5
-  112,5
-  137,5
-  162,5

0 150 300 600 900 1.200 Meters

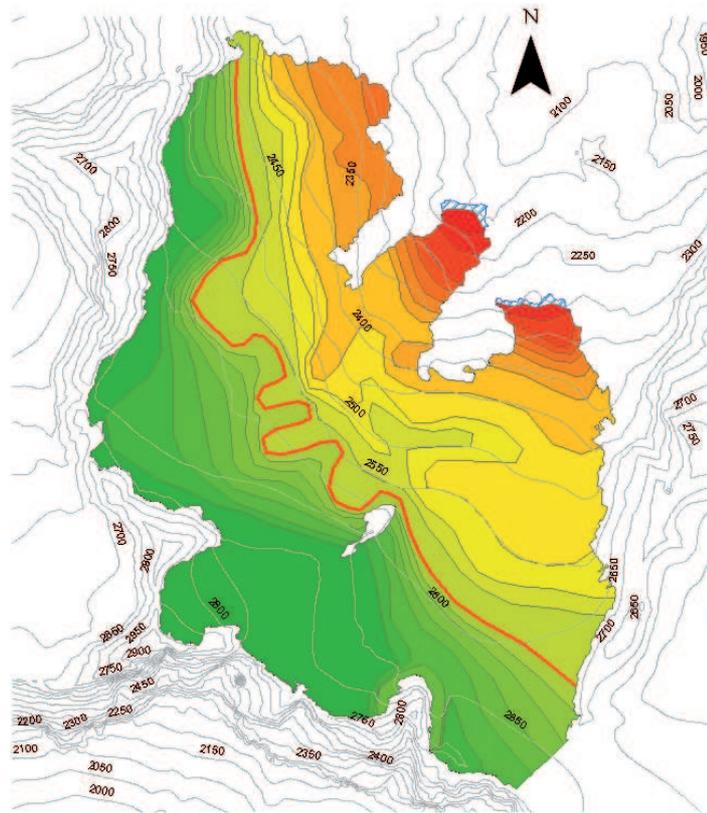


Abbildung 4.13: Flächen gleichen Wasserwertes der Jahresbilanz am Hallstätter Gletscher gültig für den 30.09.2007 und Gletschergrenze von 2002.

haltsjahr 2006/07 über der Gleichgewichtslinie. Da die Zungen des Hallstätter Gletschers verhältnismäßig kurz sind, tritt das Maximum der Ablation nur auf einer geringen Fläche auf, was einem stärker negativ ausfallenden Massenhaushalt ebenfalls entgegenwirkt.

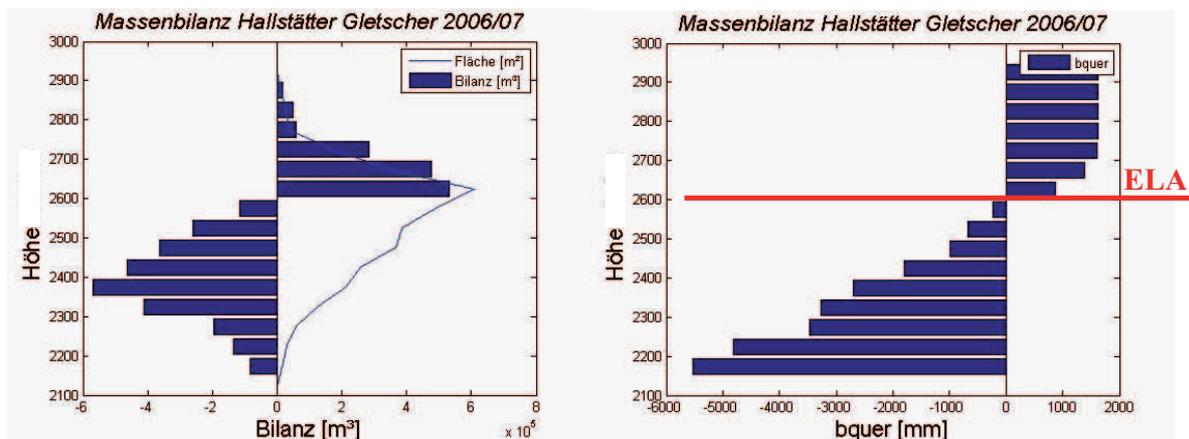


Abbildung 4.14: Bilanz der Höhenstufen und mittlere spezifische Massenbilanz der Höhenstufen und ELA am Hallstätter Gletscher.

4.3 Das hydrologische Jahr 2007/08

4.3.1 Hintereisferner und Kesselwandferner

Zu Beginn des Massenhaushaltsjahrs waren beide Gletscher mit Schnee bedeckt, im Oktober fand im Haushaltsjahr 2007/08 im Gegensatz zum Jahr davor kaum Ablation statt. Der Winterbeginn war wenig niederschlagsreich, die Hauptakkumulation fand im Spätwinter statt. Die Ausaperung der Gletscherzunge fand erst Anfang Juni statt. Anfang Juli war die Schneegrenze noch relativ tief gelegen, im Lauf des Juli stieg sie auf über 3000 m an. Am Ende des Haushaltsjahres waren große Flächen aper, die Schmelzbeträge an den einzelnen Pegeln aber gering. Die Ablationssaison innerhalb des Massenhaushaltsjahres endete am 15. September.

Der bisher unterste Pegel 12 wurde durch eine Mure von der Seite zugeschottert, daher gab es dort seit etwa Mitte Juli keine Ablation mehr. Die mittleren Abschmelzraten beim nunmehr untersten schutfreien Pegel 19 am Zungenende des HEF betragen im Zeitraum 25.6.-23.07.08 5,9 cm pro Tag, vom 23.07.-07.08.08 6,4 cm pro Tag, vom 07.08. bis zum 09.09.08. 5,7 cm pro Tag und vom 09.09. bis zum 29.09.08 1,4 cm pro Tag. Die Ergebnisse der Messungen sind in Abbildung 4.15 in Form von Isolinien der Wasserwerte, die daraus gewonnenen Haushaltswerte sind in Tabelle 4.22 dargestellt.

Pegel	WW in cm	Pegel	WW in cm	Pegel	WW in cm
12	-455	68	-245	104	-188
19	-620	69	-264	105	-122
22	-501	70	-204	106	-40
27	-574	71	-230	HE	111
30	-461	72	-213	L10/07	-527
34	-538	73	-204	L10/82	-530
38	-457	74	-282	L3/89	-159
41	-548	76	-220	L4/88	-225
42	-412	79	-207	L5/87	-281
46	-372	92	-207	L6/07	-226
50	-509	93	-155	L6/86	-293
51	-240	94	-38	L7/07	-296
57	-451	95	-146	L7/85	-394
61	-247	96	-144	L8/07	-419
64	-308	98	-137	L9/07	-452

Tabelle 4.21: Wasserwerte der Ablation und Akkumulation an den Pegeln am HEF vom 1.10.2007 bis 30.9.2008.

Sowohl der HEF als auch der KWF hatten einen negativen Massenhaushalt. Die spezifische Bilanz lag bei beiden Gletschern deutlich unter dem langjährigen Mittel (1953-2006 für HEF und 1962-2006 für KWF), die Gleichgewichtslinie etwa 200 bzw. dreihundert Meter über dem langjährigen Mittel, obwohl die Akkumulation im Frühjahr nicht unter-

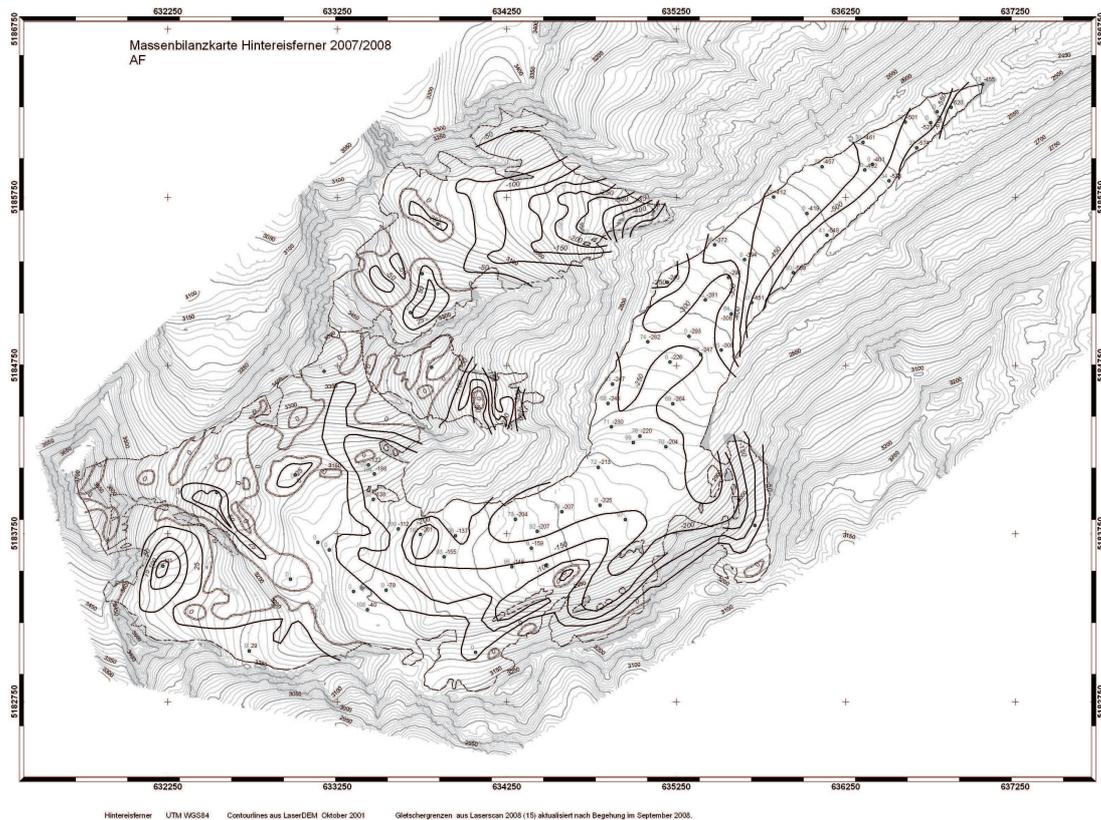


Abbildung 4.15: Isolinien des spezifischen Massenhaushaltes am HEF in cm Wasseräquivalent, gültig für den 30.9.2008. Die grauen Flächen waren im (2006/07) noch vergletschert.

durchschnittlich war.

Die Felsfenster am KWF im Bereich des ehemaligen Bruchs und am HEF im Hinteren Eis und in der Flanke zur Langtaufererspitze wurden deutlich größer. Die Zunge des KWF ist mit dem Hauptgletscher kaum noch verbunden. Das Eis an der südlichen Flanke des HEF scheint, auch wenn es noch an wenigen Stellen mit dem Hauptgletscher verbunden ist, abgekoppelt zu sein und kein nennenswertes Volumen zum Hauptgletscher beizutragen. Das Eis ist stark schuttbedeckt, das genaue Erkennen der Gletschergrenze ist schwierig. Die Ergebnisse der Messungen sind in Abbildung 4.15 in Form von Isolinien der Wasserwerte, die daraus gewonnenen Haushaltswerte sind in Tabelle 4.22 dargestellt.

Höhenstufe			Fläche	Volumen	Spezifische Bilanz
m			km ²	10 ³ m ³	mm
3750	-	3700	0,005	0,1	22
3700	-	3650	0,023	-0,2	-9
3650	-	3600	0,028	-1,4	-51
3600	-	3550	0,019	1,3	69
3550	-	3500	0,021	2,1	100
3500	-	3450	0,081	2,1	26
3450	-	3400	0,129	2,2	17
3400	-	3350	0,258	36,7	142
3350	-	3300	0,387	63,2	163
3300	-	3250	0,421	-0,6	-1
3250	-	3200	0,464	-24,5	-53
3200	-	3150	0,589	-99,7	-169
3150	-	3100	0,688	-204,7	-298
3100	-	3050	0,687	-388,7	-566
3050	-	3000	0,514	-564,6	-1099
3000	-	2950	0,457	-701,7	-1536
2950	-	2900	0,468	-851,9	-1822
2900	-	2850	0,438	-968,4	-2210
2850	-	2800	0,235	-577,7	-2458
2800	-	2750	0,395	-1058,9	-2680
2750	-	2700	0,27	-938,1	-3475
2700	-	2650	0,205	-915,6	-4471
2650	-	2600	0,184	-856,4	-4651
2600	-	2550	0,1	-514,3	-5157
2550	-	2500	0,035	-204,9	-5873
2500	-	2450	0,001	-5,6	-6250

Tabelle 4.22: Die spezifische Massenbilanz am HEF 2007/08 nach Höhenstufen und Jahreszeiten. Die spezifischen Bilanzen sind als Wasseräquivalent angegeben: 1 mm entspricht 1 kg m⁻². Flächen nach der Karte 2008.

Pegel	Höhe in m	WW in cm
L2=A4	3294	57
L3	3255	34
L4=B7	3255	20
L5	3178	-7
L6=C5	3130	-7
L7	3080	-70
L7_03	3080	-70
L8=D4	3039	-149
L10=E2	2802	-481

Tabelle 4.23: Wasserwerte der Ablation und Akkumulation an den Pegeln am KWF vom 1.10.2007 bis 30.9.2008.

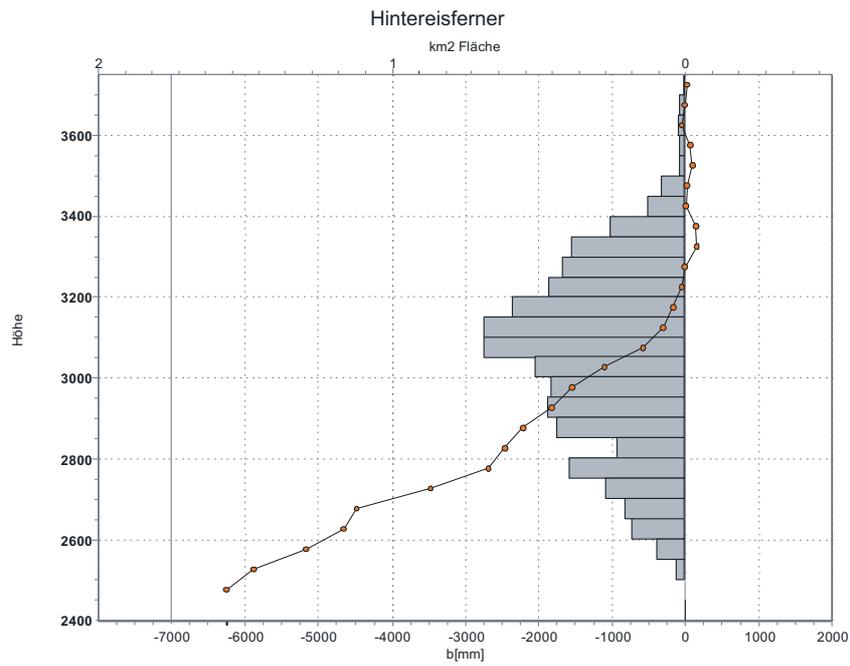


Abbildung 4.16: Die Verteilung der Flächen des HEF (Balken) und der Flächenmittel der spezifischen Jahresbilanz b (1.10.07-30.9.08 Punkte) für 50 m Höhenstufen.

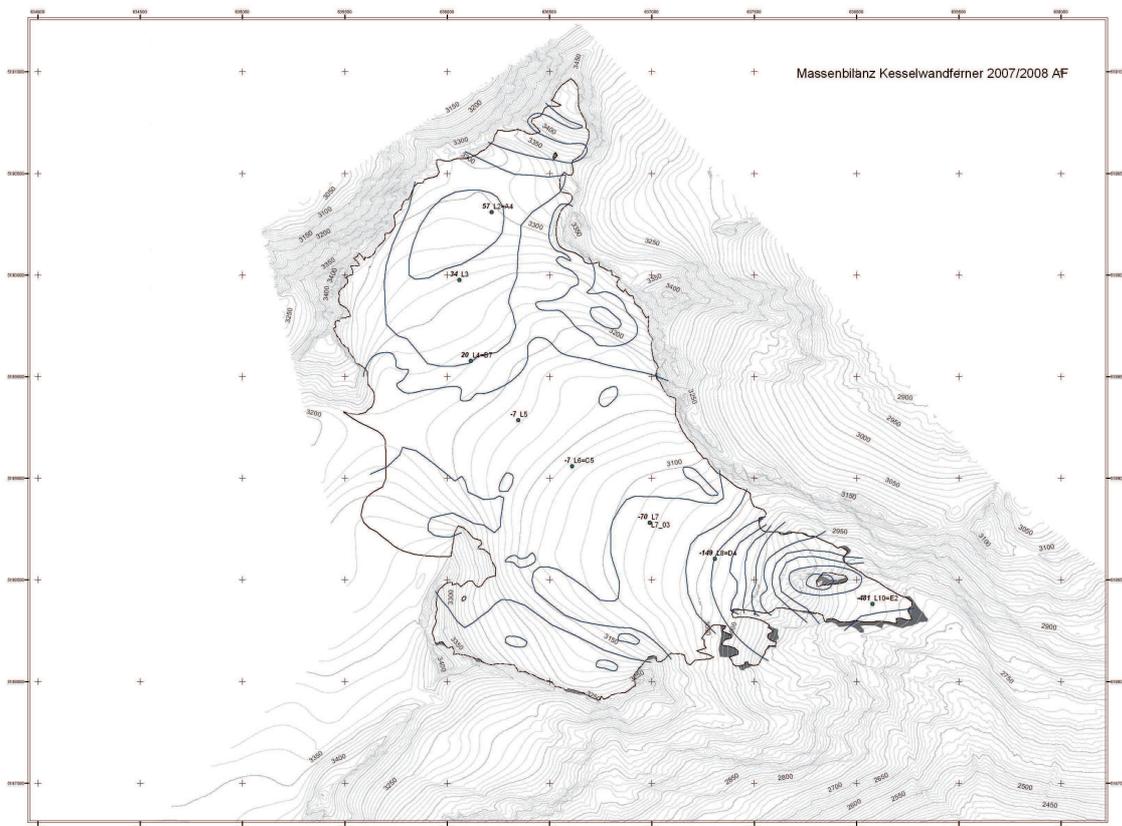


Abbildung 4.17: Isolinien des spezifischen Massenhaushaltes am KWF in cm Wasseräquivalent, gültig für den 30.9.2008.

Höhenstufe		Fläche	Gesamtbilanz	Spezifische Bilanz	
m		km ²	10 ³ m ³	mm	
3500	-	3450	0,021	1,571	74
3450	-	3400	0,026	0,725	28
3400	-	3350	0,044	-4,289	-97
3350	-	3300	0,256	43,582	170
3300	-	3250	0,601	127,431	212
3250	-	3200	0,827	2,922	4
3200	-	3150	0,7	-109,068	-156
3150	-	3100	0,515	-167,463	-325
3100	-	3050	0,403	-280,256	-696
3050	-	3000	0,144	-269,195	-1864
3000	-	2950	0,104	-369,581	-3566
2950	-	2900	0,054	-224,767	-4148
2900	-	2850	0,021	-109,406	-5274
2850	-	2800	0,056	-293,949	-5250
2800	-	2750	0,005	-25,607	-5250

Tabelle 4.24: Die spezifische Massenbilanz am KWF 2007/08 nach Höhenstufen und Jahreszeiten. Die spezifischen Bilanzen sind als Wasseräquivalent angegeben: 1 mm entspricht 1 kg m⁻². Flächen nach neuer Karte 2008.

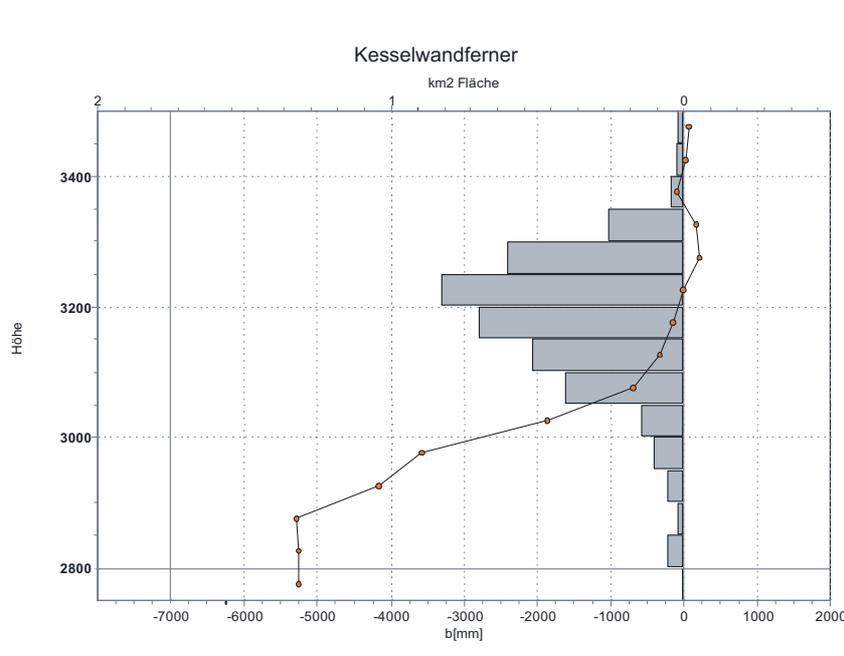


Abbildung 4.18: Die Verteilung der Flächen des KWF (Balken) und der Flächenmittel der spezifischen Jahresbilanz b (1.10.07-30.9.08 Punkte), für 50 m Höhenstufen.

4.3.2 Jamtalferner

Die Winterbilanz Vom 29.4. bis 2.5.2008 wurde die Frühjahrsbegehung zur Bestimmung der winterlichen Schneerücklage durchgeführt. Insgesamt wurden vier Schächte in den Firnbecken bis zur Gletscheroberfläche des vergangenen Herbstes gegraben. Zwischen den Schächten und im Zungenbereich des Gletschers wurde im Abstand von 300 Schritten die Schneetiefe sondiert. Abbildung 4.5 gibt (wie im Vorjahr) die Lage der Schächte, Tabelle 4.25 ihre Tiefe und Dichte sowie den Wasserwert wieder. Die Integration dieser Werte über die einzelnen Höhenstufen ergibt einen Wasserwert von $B_{wi} = 5.0910^6 \text{ m}^3$ für die gesamte Winterbilanz. Das entspricht umgerechnet auf die Fläche einer mittleren spezifischen Winterbilanz von $b_{wi} = 1484 \text{ mm}$. Tabelle 4.26 gibt die Winterbilanz des Jamtalferners, aufgeteilt nach Höhenstufen, wieder.

Schacht	Seehöhe	Tiefe	Dichte	Wasserwert
	m	cm	kg m^{-3}	mm
II	2920	488	387	1890
IV	2750	384	397	1520
VI	2960	406	401	1630
XI	3050	331	363	1200

Tabelle 4.25: Tiefe, Dichte und Wasserwerte der Schneeschächte vom April 2008 am Jamtalferner.

Höhenstufe	Fläche	Bilanz	Wasserwert
m	km^2	10^3m^3	mm
2400 - 2500	0,080	110	1380
2500 - 2600	0,332	468	1410
2600 - 2700	0,573	898	1570
2700 - 2800	0,707	1111	1570
2800 - 2900	0,705	993	1410
2900 - 3000	0,764	1124	1470
3000 - 3100	0,260	372	1430
3100 - 3200	0,010	14	1430
Summe	3,431	5090	1484

Tabelle 4.26: Winterbilanz des Jamtalferners nach Höhenstufen. Die Werte gelten für die Zeit vom 1. Oktober 2007 bis 30. April 2008.

Die Jahresbilanz des Jamtalferners Die Jahresbilanz wird in ähnlicher Weise errechnet, nur kommt zu den Schneeschächten im Akkumulationsgebiet noch die Messung des Eisverlustes mit Ablationspegel im Zehrgebiet hinzu. Die Ablationspegel wurden ursprünglich im Herbst 1988 eingebohrt, in den Folgejahren ersetzt und nachgebohrt und während des Jahres 2008 mehrmals kontrolliert, die Herbstbegehung fand vom 25. bis 27. September 2008 statt. Abbildung 4.19 zeigt den zeitlichen Verlauf der Ablation im Jahre 2008 bei den Pegeln 2, 4, 6, 9, 12 in cm Eis.

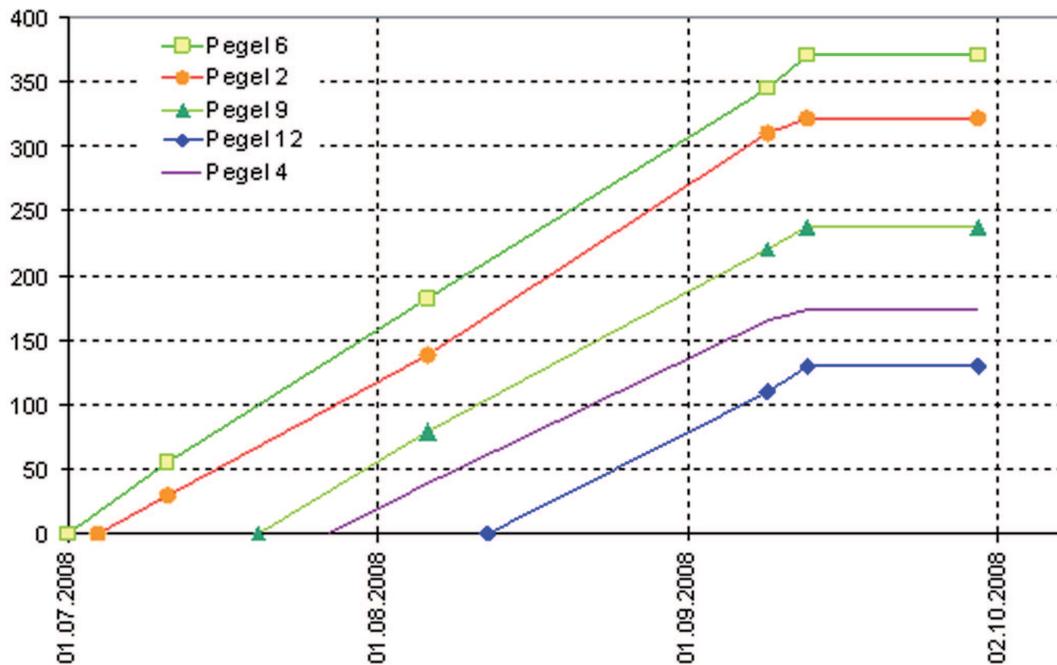


Abbildung 4.19: Zeitlicher Verlauf der Ablation 2008 an den Pegeln 6, 2, 9, 12, 4 am Jamtalferner in cm Eis.

Die Lage der Ablationspegel und der Schneeschächte ist in Abbildung 4.5 wiedergegeben, die Jahres Ablations Werte der Pegel in mm Wasser in Tabelle 4.27, die Jahres Akkumulations Werte der Schächte in Tabelle 4.28.

Pegel Nr.	Wasserwert mm	Pegel Nr.	Wasserwert mm
1	-3540	8	-1830
2	-2680	9	-2120
3	-1560	10	-1710
4 alt	-1580	11	-2570
4 neu	-1540	12	-1140
5	-2100	13	-1450
6	-3300	15	-1130
7	-2680	16	-810
		17	-3400

Tabelle 4.27: Wasserwerte der Ablation an den Pegeln am Jamtalferner vom 1.10.2007 bis 30.9.2008.

Das Ergebnis dieser Messungen ist in Abbildung 4.20 in Form von Isolinien der Wasserwerte dargestellt, die daraus gewonnenen Haushaltswerte sind in Tabelle 4.29 dargestellt. Die Sommerbilanz wurde als Differenz zwischen Jahreswert und Winterwert be-

Schacht	Seehöhe m	Tiefe cm	Dichte kg/m ³	Wasserwert mm
II	2920	74	408	300

Tabelle 4.28: Wasserwerte des Schneeschachts am Jamtalferner. Der Wert entspricht der Jahresrücklage 1.10.2007-30.9.2008

rechnet.

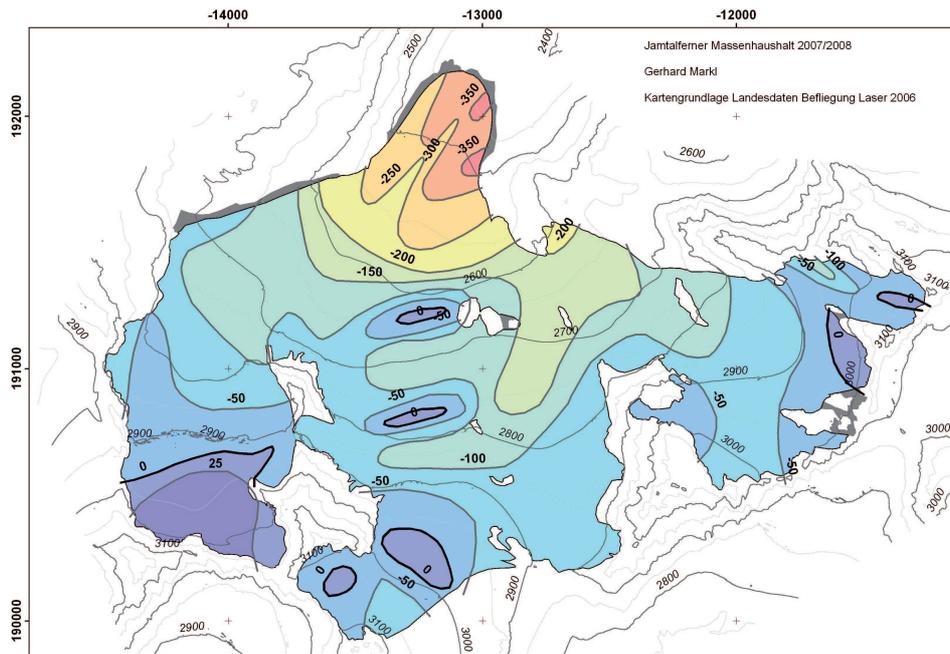


Abbildung 4.20: Isolinien des spezifischen Massenhaushaltes am Jamtalferner in mm Wasseräquivalent, gültig für den 30.9.2008.

Höhenstufe	Fläche	Gesamt-Bilanz	spezifische Bilanz		
			2006/07	Winter	Sommer
			mm	mm	mm
m	km ²	10 ³ m ³			
2400 - 2500	0,083	-263	-3190	1380	-4570
2500 - 2600	0,343	-818	-2390	1410	-3800
2600 - 2700	0,565	-727	-1290	1570	-2860
2700 - 2800	0,685	-704	-1030	1570	-2600
2800 - 2900	0,693	-509	-730	1410	-2140
2900 - 3000	0,714	-168	-230	1470	-1700
3000 - 3100	0,227	-60	-260	1430	-1690
3100 - 3200	0,004	-1	-250	1430	-1680
Summe	3,314	-3251	-980	1480	-2560

Tabelle 4.29: Die spezifische Massenbilanz am Jamtalferner 2007/08 nach Höhenstufen und Jahreszeiten. Die spezifischen Bilanzen sind als Wasseräquivalent angegeben: 1 mm entspricht 1 kg m⁻². Flächen nach neuer Karte 2008.

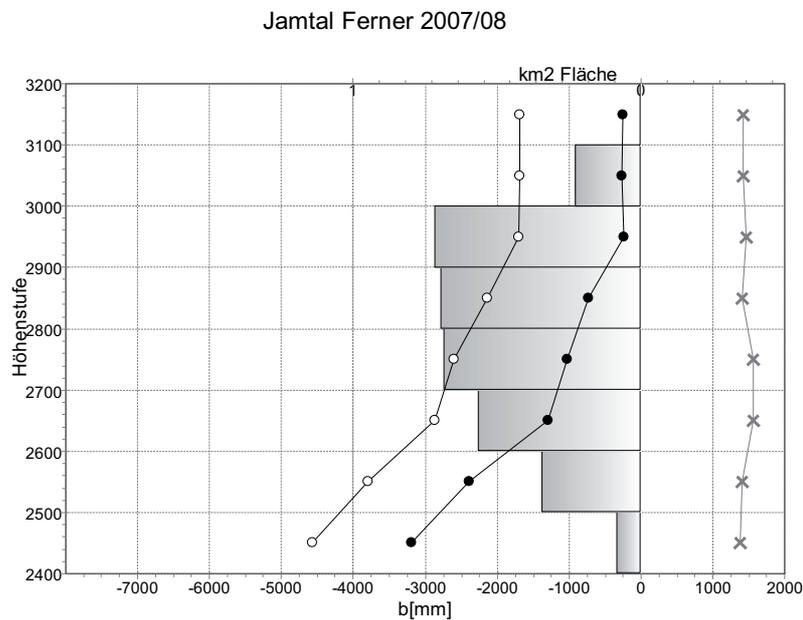


Abbildung 4.21: Die Verteilung der Flächen des Jamtalferners (Balken) und der Flächenmittel der spezifischen Jahresbilanz b (1.10.07-30.9.08 Punkte), der Winterbilanz b_{wi} (1.10.07-30.4.08 Kreuze) und der Sommerbilanz b_{so} (1.5.-30.9.08 Kreise) für 100 m Höhenstufen.

4.3.3 Äußeres Mullwitzkees

Winterbilanz Um die Winterbilanz zu bestimmen, wird aus der ermittelten Dichte und Tiefe der Frühjahrsschächte der Wasserwert berechnet. Die Schneehöhe der Sondierungen wird ebenfalls mit der mittleren Dichte der Schächte in Wasseräquivalent umgerechnet. Aus Tabelle 4.30 sind die Wasserwerte und die mittlere Dichte der Frühjahrsschächte zu entnehmen, bzw. deren Lage aus Abbildung 4.22.

Schachtnummer	Seehöhe [m]	Tiefe [m]	Dichte [kg/m ³]	Wasserwert [mm]
1	3195	4,07	402	1637
2	3345	1,68	332	557
3	3300	3,04	372	1131
4	3220	4,20	433	1820

Tabelle 4.30: Dichte, Tiefe und Wasserwert der Schächte der Frühjahrsbegehung am Mullwitzkees 2008.

Höhenstufe	Fläche [km ²]	Bilanz [10 ³ m ³]	Wasserwert [mm]
2675	0,006	4,3	700
2725	0,052	36,1	700
2775	0,074	74,4	999
2825	0,141	185,5	1312
2875	0,221	311,1	1407
2925	0,278	404,7	1457
2975	0,261	376,2	1440
3025	0,288	411,6	1431
3075	0,259	398	1535
3125	0,236	388,6	1645
3175	0,29	492,6	1697
3225	0,37	618,2	1670
3275	0,293	383,3	1309
3325	0,187	181,8	973
3375	0,105	72,7	694
3425	0,022	11,1	500
Gesamt	3,083	4350	1410

Tabelle 4.31: Flächen- und Winterbilanz-Höhenverteilung am Mullwitzkees und Mittelwerte der Höhenstufen.

Aus Tabelle 4.31 sind die Werte der Winterbilanz, gültig von 01.10.2007 bis 30.04.2008, zu entnehmen. Die Winterbilanz $B_{wi} = 4,3510^6 \text{ m}^3$ der einzelnen Höhenstufen wird durch Integration über die jeweilige Fläche berechnet. Das entspricht, über die Gesamtfläche, einer spezifischen Winterbilanz von $b_{wi} = 1410 \text{ mm}$.

Jahresbilanz Aus Tabelle 4.32 sind die Wasserwerte und die mittlere Dichte der Herbstschächte und aus Tabelle 4.33 die Wasserwerte der einzelnen Pegel zu entnehmen, bzw. deren Lage aus Abbildung 4.22.

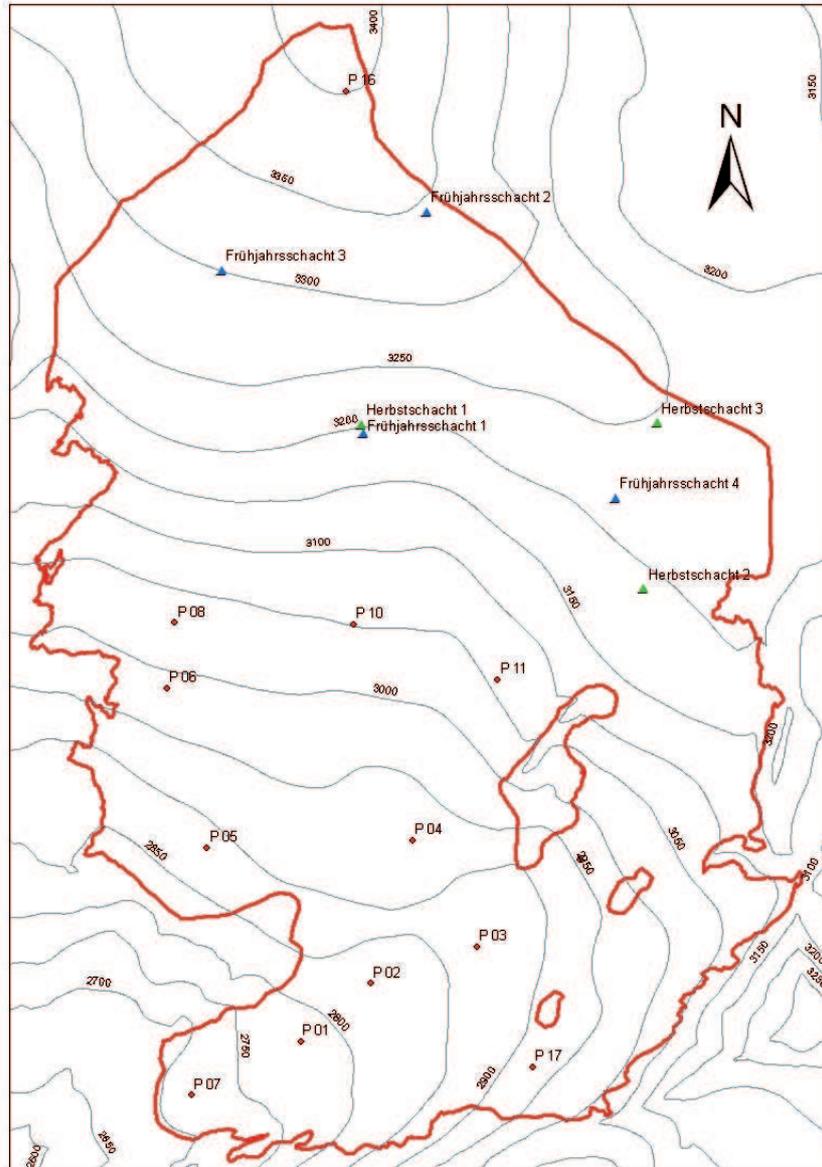


Abbildung 4.22: Lage der Pegel(P) der Frühjahrs- (Maischächte) und Herbstschächte am Mullwitzkees mit Nummern der Schächte im Frühjahr und Herbst 2008

Schachtnummer	Seehöhe [m]	Tiefe [m]	Dichte [kg/m ³]	Wasserwert [mm]
1	3200	2,47	578	1428
2	3190	3,05	595	1814
3	3245	0,90	zu hart für Abstich	528

Tabelle 4.32: Wasserwert der Herbstschächte am Mullwitzkees 2008.

Pegelnummer	Wasserwert [mm]	Pegelnummer	Wasserwert [mm]
1	-2250	8	-1640
2	-1590	10	-1570
3	-1500	11	-680
4	-1860	15	-2310
5	-2880	16	-780
6	-2200	17	-1490
7	-4500		

Tabelle 4.33: Wasserwert der Ablation an den Pegeln am Mullwitzkees 2008.

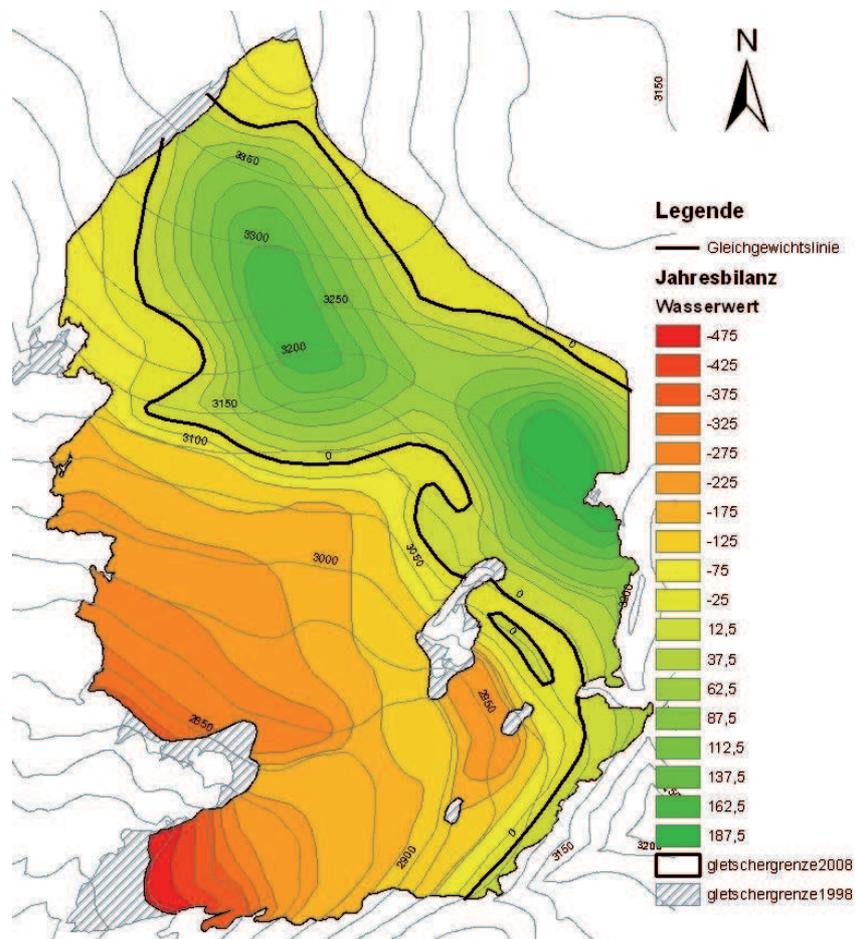


Abbildung 4.23: Flächen gleichen Wasserwertes der Jahresbilanz am Mullwitzkees gültig für den 30.09.2008 und Gletschergrenze von 1998.

Höhenstufe	Fläche [km ²]	Bilanz [10 ³ m ³]	Wasserwert [mm]
2675	0,006	-29,3	-4750
2725	0,052	-216,9	-4203
2775	0,074	-199,6	-2679
2825	0,141	-294,2	-2080
2875	0,221	-455,8	-2060
2925	0,278	-574,5	-2068
2975	0,261	-443,5	-1697
3025	0,288	-371,1	-1290
3075	0,259	-159	-613
3125	0,236	37,5	159
3175	0,29	219,6	757
3225	0,37	281,6	761
3275	0,293	127,3	435
3325	0,187	106,6	570
3375	0,105	8,3	79
3425	0,022	-16,7	-750
Gesamt	3,083	-1980	-642

Tabelle 4.34: Flächen- und Jahresbilanz-Höhenverteilung am Mullwitzkees und Mittelwerte der Höhenstufen.

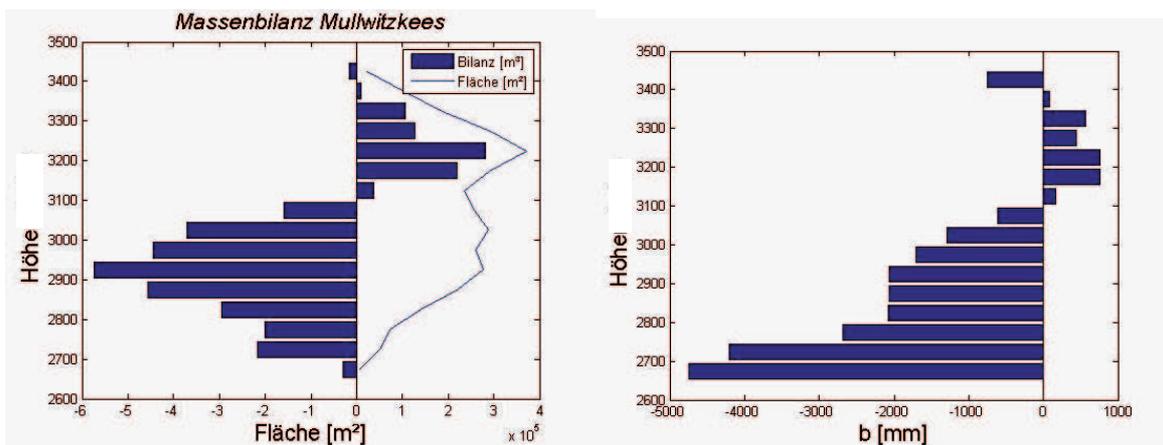


Abbildung 4.24: Verteilung der Gesamt- und spezifischen Massenbilanz der Höhenstufen am Mullwitzkees 2008.

4.3.4 Hallstätter Gletscher

Winterbilanz Für die Winterbilanz wird zunächst der Wasserwert der Schneedecke an den Schachtpositionen aus dem Dichteprofil ermittelt. Dieser wird dann anhand von Sondierungen unter Annahme der mittleren Dichte der Schächte über den Gletscher interpoliert. Aus Tabelle 4.35 gehen Dichte und Wasserwert der Schächte hervor.

Schachtnummer	Seehöhe [m]	Tiefe [m]	Dichte [kg/m ³]	Wasserwert [mm]
1	2406	6,00	447	2680
2	2719	6,00	444	2665

Tabelle 4.35: Dichte, Tiefe und Wasserwert der Schächte der Frühjahrsbegehung am Hallstätter Gletscher 2008.

Höhenstufe m	Fläche km ²	Bilanz 10 ³ m ³	Wasserwert mm
2150 - 2200	0,003	5,5	1750
2200 - 2250	0,022	38,5	1750
2250 - 2300	0,05	94,1	1869
2300 - 2350	0,122	238,8	1961
2350 - 2400	0,2	407,9	2038
2400 - 2450	0,253	521,9	2067
2450 - 2500	0,364	830,7	2283
2500 - 2550	0,379	875,5	2309
2550 - 2600	0,494	1300,3	2630
2600 - 2650	0,582	1861	3196
2650 - 2700	0,33	972,6	2943
2700 - 2750	0,168	468,6	2792
2750 - 2800	0,036	98,8	2751
2800 - 2850	0,027	74,1	2750
3850 - 2900	0,01	28,3	2750
gesamt	3,041	7816,7	2570

Tabelle 4.36: Flächen- und Winterbilanz-Höhenverteilung am Hallstätter Gletscher und Mittelwerte der Höhenstufen.

Tabelle 4.36 zeigt die Werte der Winterbilanz nach Höhenstufen, gültig von 01.10.2007 bis 30.04.2008. Die Winterbilanz $B_{wi} = 7,817 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ wird durch Integration über die jeweiligen Flächen der Höhenstufen berechnet. Das entspricht, über die Gesamtfläche, einer spezifischen Winterbilanz von $b_{wi} = 2570 \text{ mm}$.

Jahresbilanz Für die Jahresbilanz werden zusätzlich zu den Schächten die Messwerte der Ablation an den Pegeln hinzugezogen (Tabelle 4.37). Mit den Messungen zur Herbstbegehung am Ende des hydrologischen Jahres wird erneut der Wasserwert an den Schachtpositionen ermittelt (Tabelle 4.38). An den Pegeln wird anhand des über die Ablationssaison freigelegten Endes unter Verwendung der mittleren Dichte von Eis $\rho = 900 \text{ kgm}^{-3}$ der Massenverlust an der Eisoberfläche berechnet.

Pegelnummer	Wasserwert [mm]	Pegelnummer	Wasserwert [mm]
DP 20	-3340	DP 31	-1560
DP 21	-4350	DP 32	-1590
DP 22	-3270	DP 33	-1150
DP 24	-3890	DP 34	-2220
DP 25	-3460	DP 36	-980
DP 27	-1480	DP 37	-2780
DP 29	-2630	DP 38	-90
DP 30	-960		

Tabelle 4.37: Wasserwert der Ablation an den Pegeln am Hallstätter Gletscher 2008.

Schachtnummer	Seehöhe [m]	Tiefe [m]	Dichte [kg/m ³]	Wasserwert [mm]
1	2625	3,85	544	2094
2	2719	2,24	510	1143
3	2629	2,23	493	1099
4	2474	2,39	501	1198

Tabelle 4.38: Wasserwert der Herbstschächte am Hallstätter Gletscher 2008.

Höhenstufe m	Fläche km ²	Bilanz 10 ³ m ³	Wasserwert mm
2150 - 2200	0,003	-14,7	-4670
2200 - 2250	0,022	-92,6	-4207
2250 - 2300	0,050	-185,1	-3675
2300 - 2350	0,122	-398,3	-3270
2350 - 2400	0,200	-518,3	-2589
2400 - 2450	0,253	-519,4	-2057
2450 - 2500	0,364	-412,1	-1133
2500 - 2550	0,79	-368,9	-973
2550 - 2600	0,494	-84,1	-170
2600 - 2650	0,582	197,4	339
2650 - 2700	0,330	126,9	384
2700 - 2750	0,168	95,5	569
2750 - 2800	0,036	22,4	625
2800 - 2850	0,027	16,8	625
3850 - 2900	0,010	6,4	625
gesamt	3,041	-2128,1	-700

Tabelle 4.39: Flächen- und Höhenverteilung der Jahresbilanz am Hallstätter Gletscher 2007/08.

Aus den Sondierungen der Altschneedicke, Fotos, Webcam-Bildern und den Wasserwerten an Schächten und Pegeln wird eine Karte mit Isoflächen gleicher spezifischer Massenbilanz erstellt. Damit werden über die Flächen- und Höhenverteilung die Jahresbilanz sowie die Bilanz der einzelnen Höhenstufen berechnet. Abbildung 4.25 zeigt das Akkumulationsgebiet (grün) und das Ablationsgebiet (gelb/rot). Diese werden von der Nulllinie getrennt. Wie im Vorjahr lag das ganze obere Plateau des Gletschers im Haushaltsjahr

2007/08 über der Gleichgewichtslinie.

Massenbilanz Hallstätter Gletscher

01.10.2007 - 30.09.2008

erstellt von
Kay Helfricht
Institut für Meteorologie und Geophysik
Universität Innsbruck
den 05.01.2009

Legende

- Gletschergrenze 2007
- Gleichgewichtslinie 2008
- Höhenschichtlinien 50m

Massenbilanz Isoflächen

Wasserwert (cm)

- 475
- 425
- 375
- 275
- 225
- 175
- 125
- 75
- 25
- 12,5
- 37,5
- 62,5

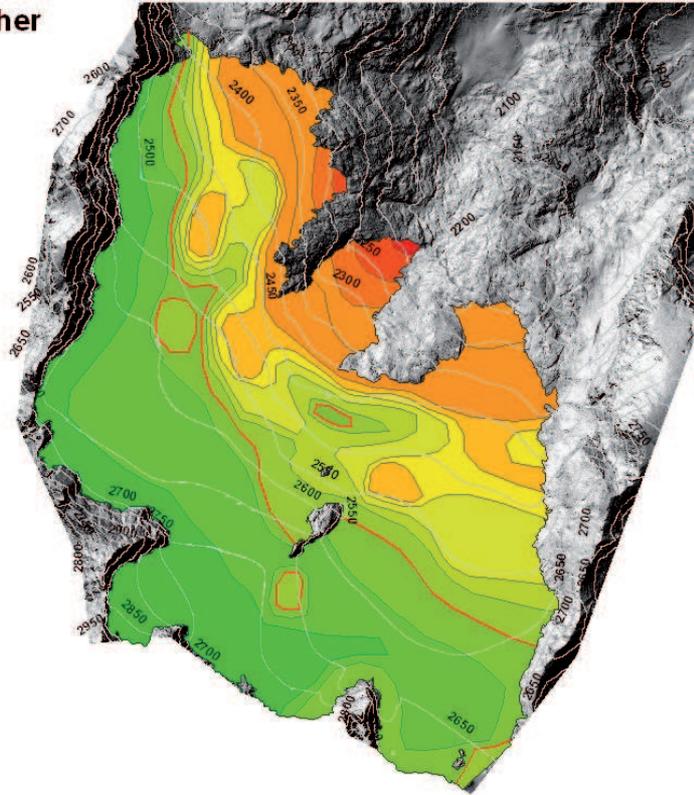
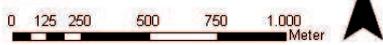


Abbildung 4.25: Flächen gleichen Wasserwertes der Jahresbilanz am Hallstätter Gletscher gültig für den 30.09.2008 und Gletschergrenze von 2002.

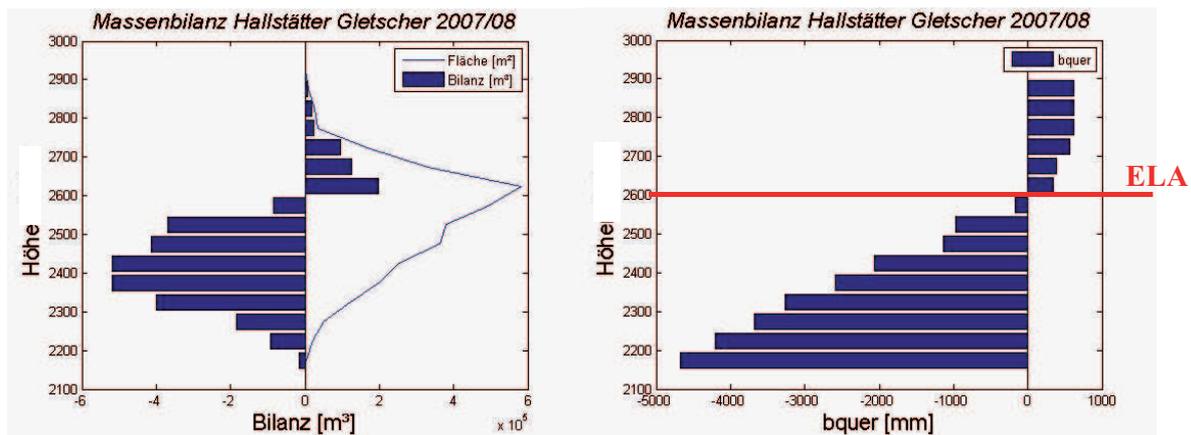


Abbildung 4.26: Bilanz der Höhenstufen und mittlere spezifische Massenbilanz der Höhenstufen und ELA am Hallstätter Gletscher.

5 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Die Massenbilanzen der fünf Gletscher waren in den Jahren 2006/07 und 2007/08 stark negativ. Eine Übersicht über die Kennzahlen der Massenhaushaltsjahre gibt Tabelle 4.1. So ergaben die Messungen für HEF und KWF eine spezifische Massenbilanz von -1798 kg m^{-2} und -836 kg m^{-2} für das Jahr 2006/07. Das Massenhaushaltsjahr 2007/08 war für HEF mit -1235 kg m^{-2} etwas positiver als das Vorjahr, und mit -444 kg m^{-2} am KWF beinahe die Hälfte der negativen Massenbilanz des Vorjahrs. Auch am Jamtalferner erwies sich das Haushaltsjahr 2007/08 mit -981 kg m^{-2} deutlich positiver als das Jahr 2006/07 mit -1439 kg m^{-2} . Seit 2006/07 werden auch am äußeren Mullwitzkees und am Hallstätter Gletscher Untersuchungen zum Massenhaushalt durchgeführt. Am Mullwitzkees ergaben die Untersuchungen eine spezifische Massenbilanz von -1447 kg m^{-2} im ersten Jahr und etwas weniger als die Hälfte (-642 kg m^{-2}) im Jahr 2007/08. Am Hallstätter Gletscher war das Jahr 2007/08 mit -700 kg m^{-2} etwa doppelt so negativ, als das Jahr 2006/07 mit -376 kg m^{-2} . Der Grund dafür liegt in den unterschiedlichen Wettererscheinungen der ersten beiden Haushaltsjahre, die mit der direkten glaziologischen Methode mit fixem Datum nicht aufgeschlüsselt werden. Daher können die ersten Ergebnisse am Hallstätter Gletscher nur in Kombination beider Jahre mit den Ergebnissen der anderen Gletscher verglichen werden.

Die Massenbilanzen der fünf Gletscher unterscheiden sich betreffend der Winterniederschläge und der Flächen-Höhen-Verteilung, wie es in Kuhn u. a. 1985 für zwei benachbarte Gletscher im Ötztal beschrieben wird. Änderungen in der geodätischen Datengrundlage und Unsicherheiten beim Zeichnen der Massenbilanzkarten, verursachen Abweichungen der Fläche der Höhenstufen. Wenn der Gletscherrückgang zB. am HEF ein Ausmaß von bis zu $0,05 \text{ km}^{-2}$ pro Jahr erreicht, ergeben sich aufgrund der Änderung des digitalen Höhenmodells Unstetigkeiten bis zu $0,1 \text{ km}^{-2}$, was wiederum die Berechnung der Gleichgewichtslinie beeinflussen kann.

Am HEF und KWF führen stark negative Bilanzen zur Abtrennung verschiedener Zuflüsse zum Hauptgletscher, wodurch sich die Dynamik des Hauptgletschers und der Nebengletscher stark ändert. Die Reduzierung der Gletscherfläche (für HEF von 9 km^{-2} 1976 auf $7,2 \text{ km}^{-2}$ 2007) hat auch einen Einfluss auf die Massenbilanz, da tief gelegene Abschnitte des Gletschers, welche in vergangenen Jahren noch zur Massenbilanz beigetragen haben, jetzt eisfrei sind. Die spezifische Massenbilanz eines Gletschers zu unterschiedlichen Zeiten spiegelt nicht die klimatischen Bedingungen wieder. Änderungen der Massenbilanz aufgrund geänderter Gletscherflächen sind zwar die Folge einer Klimaänderung, erschwert aber die Interpretation der Massenbilanzreihen im Hinblick auf klimatische Änderungen. Aufgrund der oben genannten Fakten ist es sehr wichtig die Langzeit-Serien der Massenbilanzen zu homogenisieren, spezifische Massenbilanzen für bestimmte Flächen zu generieren und somit, auch über Jahrzehnte hinweg vergleichbar zu machen.

6 Danksagung

Die Untersuchungen der Massenbilanzen werden vom Hydrographischen Dienst der Abteilung Wasserwirtschaft des Amtes der Tiroler Landesregierung, der Kommission für geographische Forschungen der österreichischen Akademie der Wissenschaften, dem Nationalpark Hohe Tauern dem Land Oberösterreich und der Energie AG finanziert. Großer Dank gilt der Firma Blue Sky Wetteranalysen für die gute Zusammenarbeit am Massenhaushaltsprojekt Hallstätter Gletscher. Ein spezielles Dankeschön an Dr. Herald Schneider für die Messungen am KWF. Die Archivierung der Daten von Fritz Pellet war sehr hilfreich für das Programm. Das Institut für Geographie und andere Partner des OMEGA Projektes stellten freundlicherweise die Orthofotos und das digitale Höhenmodell der Laser Scan Daten für HEF und KWF zur Bestimmung der Massenbilanz seit 2003/04 zur Verfügung. Vielen Dank an die Kommission für Glaziologie der bayrischen Akademie der Wissenschaften für das digitale Höhenmodell des HEF von 1991. Die Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) stellte die Klimadaten der Station Galtür zur Verfügung. Großer Dank gilt den zahllosen Helfern und Studenten, welche die Feldarbeiten in der Silvretta, im Ötztal, im Venedigergebiet und am Dachstein tatkräftig unterstützt haben, und den Hüttenwirten in allen Gegenden für die Bewirtschaftung und die hilfreiche logistische Unterstützung.

Abbildungsverzeichnis

2.1	Abweichung der Temperatur der Jahre 2006, 2007 und 2008 vom langjährigen Mittel 1971 bis 2000 (www.zamg.ac.at).	5
2.2	Abweichung der Niederschlagssumme der Jahre 2006, 2007 und 2008 vom langjährigen Mittel 1971 bis 2000 (www.zamg.ac.at).	5
3.1	Orthofoto 1997 mit Gletschergrenzen 1969 für KWF und HEF in blau und Gletschergrenzen 1997 in rot (mit Toteis) aus dem Österreichischen Gletscherinventar 1998.	16
3.2	Orthofoto des Jamtelferners 2002.	17
3.3	Orthofoto Mullwitzkees 1998 mit Gletschergrenzen von 1998 und 2007. . .	18
3.4	Orthofoto Hallstätter Gletscher 2002 mit Gletschergrenze.	19
4.1	Isolinien des spezifischen Massenhaushaltes am HEF in cm Wasseräquivalent, gültig für den 30.9.2007. Die grauen Flächen waren im Vorjahr (2005/06) noch vergletschert.	23
4.2	Die Verteilung der Flächen des HEF (Balken) und der Flächenmittel der spezifischen Jahresbilanz b (1.10.06-30.9.07 Punkte) für 50 m Höhenstufen.	25
4.3	Isolinien des spezifischen Massenhaushaltes am KWF in cm Wasseräquivalent, gültig für den 30.9.2007.	25
4.4	Die Verteilung der Flächen des KWF (Balken) und der Flächenmittel der spezifischen Jahresbilanz b (1.10.06-30.9.07 Punkte), für 50 m Höhenstufen.	26
4.5	Lage der Schneeschächte (Quadrate) und Pegel (Punkte) am Jamtalferner im April 2007. Die Messergebnisse sind in Tabelle 4.6 zusammengefasst. . .	27
4.6	Zeitlicher Verlauf der Ablation 2007 an den Pegeln 6, 2, 9, 12, 40 am Jamtalferner in cm Eis.	28
4.7	Isolinien des spezifischen Massenhaushaltes am Jamtalferner in mm Wasseräquivalent, gültig für den 30.9.2007.	29
4.8	Die Verteilung der Flächen des Jamtalferners (Balken) und der Flächenmittel der spezifischen Jahresbilanz b (1.10.06-30.9.07 Punkte), der Winterbilanz b_{wi} (1.10.06 - 30.4.07 Kreuze) und der Sommerbilanz b_{so} (1.5.-30.9.07 Kreise) für 100 m Höhenstufen.	30
4.9	Lage der Pegel(P) der Frühjahrs- (Maischächte) und Herbstschächte am Mullwitzkees mit Nummern der Schächte im Frühjahr und Herbst 2007 . .	32
4.10	Flächen gleichen Wasserwertes der Jahresbilanz am Mullwitzkees gültig für den 30.09.2007 und Gletschergrenze von 1998	33
4.11	Verteilung der Gesamt- und spezifischen Massenbilanz der Höhenstufen am Mullwitzkees 2007	34
4.12	Positionen der Pegel und Schächte am Hallstätter Gletscher 2006/07. . . .	35
4.13	Flächen gleichen Wasserwertes der Jahresbilanz am Hallstätter Gletscher gültig für den 30.09.2007 und Gletschergrenze von 2002.	38

4.14 Bilanz der Höhenstufen und mittlere spezifische Massenbilanz der Höhenstufen und ELA am Hallstätter Gletscher.	38
4.15 Isolinien des spezifischen Massenhaushaltes am HEF in cm Wasseräquivalent, gültig für den 30.9.2008. Die grauen Flächen waren im (2006/07) noch vergletschert.	40
4.16 Die Verteilung der Flächen des HEF (Balken) und der Flächenmittel der spezifischen Jahresbilanz b (1.10.07-30.9.08 Punkte) für 50 m Höhenstufen.	42
4.17 Isolinien des spezifischen Massenhaushaltes am KWF in cm Wasseräquivalent, gültig für den 30.9.2008.	42
4.18 Die Verteilung der Flächen des KWF (Balken) und der Flächenmittel der spezifischen Jahresbilanz b (1.10.07-30.9.08 Punkte), für 50 m Höhenstufen.	43
4.19 Zeitlicher Verlauf der Ablation 2008 an den Pegeln 6, 2, 9, 12, 4 am Jamtalferner in cm Eis.	45
4.20 Isolinien des spezifischen Massenhaushaltes am Jamtalferner in mm Wasseräquivalent, gültig für den 30.9.2008.	46
4.21 Die Verteilung der Flächen des Jamtalfernens (Balken) und der Flächenmittel der spezifischen Jahresbilanz b (1.10.07-30.9.08 Punkte), der Winterbilanz b_{wi} (1.10.07-30.4.08 Kreuze) und der Sommerbilanz b_{so} (1.5.-30.9.08 Kreise) für 100 m Höhenstufen.	47
4.22 Lage der Pegel(P) der Frühjahrs- (Maischächte) und Herbstschächte am Mullwitzkees mit Nummern der Schächte im Frühjahr und Herbst 2008 . .	49
4.23 Flächen gleichen Wasserwertes der Jahresbilanz am Mullwitzkees gültig für den 30.09.2008 und Gletschergrenze von 1998.	50
4.24 Verteilung der Gesamt- und spezifischen Massenbilanz der Höhenstufen am Mullwitzkees 2008.	51
4.25 Flächen gleichen Wasserwertes der Jahresbilanz am Hallstätter Gletscher gültig für den 30.09.2008 und Gletschergrenze von 2002.	54
4.26 Bilanz der Höhenstufen und mittlere spezifische Massenbilanz der Höhenstufen und ELA am Hallstätter Gletscher.	54

Tabellenverzeichnis

1.1	Geographische Lage, Fläche und Höhererstreckung von HEF (Hintereisferner), KWF (Kesselwandferner), JAM (Jamtalferner), MW (Mullwitzkees) und HG (Hallstätter Gletscher).	3
2.1	Klimadaten 2006/07 an der Station Vent in 1906 m Seehöhe.	7
2.2	An den Totalisatoren im Einzugsgebiet der Rofenache gemessene Niederschlagssummen 2006/07.	8
2.3	Klimadaten 2006/07 an der Station Galtür in 1648 m Seehöhe.	9
2.4	Werte der Ablesungen am Totalisator Defreggerhaus in cm und umgerechnete Niederschlagssumme für den angegebenen Zeitraum.	10
2.5	Messwerte des Totalisators am Hallstätter Gletscher.	10
2.6	Klimadaten 2007/08 an der Station Vent in 1906 m Seehöhe.	11
2.7	An den Totalisatoren im Einzugsgebiet der Rofenache gemessene Niederschlagssummen 2007/08.	12
2.8	Klimadaten 2007/08 an der Station Galtür in 1648 m Seehöhe.	13
2.9	Werte der Ablesungen am Totalisator Defreggerhaus in cm und umgerechnete Niederschlagssumme für den angegebenen Zeitraum. Am 25.10.2008 wurde der Totalisator topf ausgetauscht und am 28.07.2008 etwas Flüssigkeit abgelassen.	14
2.10	Messwerte des Totalisators am Hallstätter Gletscher.	15
4.1	Vergleich der Kennzahlen der Massenbilanzjahre 2006/07 und 2007/08 von Jamtalferner, HEF, KWF, Mullwitzkees und Hallstätter Gletscher. Volumina und spezifische Bilanzen werden als Wasseräquivalent angegeben. . .	21
4.2	Wasserwerte der Ablation und Akkumulation an den Pegeln am HEF vom 1.10.2006 bis 30.9.2007.	23
4.3	Die spezifische Massenbilanz am HEF 2006/07 nach Höhenstufen und Jahreszeiten. Die spezifischen Bilanzen sind als Wasseräquivalent angegeben: 1 mm entspricht 1 kg m^{-2} . Flächen nach der Karte Oktober 2006.	24
4.4	Wasserwerte der Ablation und Akkumulation an den Pegeln am KWF vom 1.10.2006 bis 30.9.2007.	24
4.5	Die spezifische Massenbilanz am KWF 2006/07 nach Höhenstufen und Jahreszeiten. Die spezifischen Bilanzen sind als Wasseräquivalent angegeben: 1 mm entspricht 1 kg m^{-2} . Flächen nach neuer Karte Oktober 2006.	26
4.6	Tiefe, Dichte und Wasserwerte der Schneeschächte vom April 2007 am Jamtalferner.	27
4.7	Winterbilanz des Jamtalfernern nach Höhenstufen. Die Werte gelten für die Zeit vom 1. Oktober 2006 bis 30. April 2007.	28
4.8	Wasserwerte der Ablation an den Pegeln am Jamtalferner vom 1.10.2006 bis 30.9.2007.	29

4.9	Wasserwert des Schneeschafts am Jamtalferner. Der Wert entspricht der Jahresrücklage 1.10.2006-30.9.2007.	29
4.10	Die spezifische Massenbilanz am Jamtalferner 2006/07 nach Höhenstufen und Jahreszeiten. Die spezifischen Bilanzen sind als Wasseräquivalent angegeben: 1 mm entspricht 1 kg m ⁻² . Flächen nach neuer Karte 2002.	30
4.11	Dichte, Tiefe und Wasserwert der Schächte der Frühjahrsbegehung 2007 am Mullwitzkees.	31
4.12	Flächen- und Winterbilanz-Höhenverteilung und Mittelwerte der Höhenstufen am Mullwitzkees.	31
4.13	Wasserwert der Herbstschächte am Mullwitzkees 2007.	32
4.14	Wasserwert der Ablation an den Pegeln am Mullwitzkees 2007.	33
4.15	Flächen- und Jahresbilanz-Höhenverteilung am Mullwitzkees und Mittelwerte der Höhenstufen.	34
4.16	Dichte, Tiefe und Wasserwert der Schächte der Frühjahrsbegehung am Hallstätter Gletscher 2007.	36
4.17	Flächen- und Winterbilanz-Höhenverteilung am Hallstätter Gletscher und Mittelwerte der Höhenstufen.	36
4.18	Wasserwert der Ablation an den Pegeln am Hallstätter Gletscher 2007.	37
4.19	Wasserwert der Herbstschächte am Hallstätter Gletscher 2007	37
4.20	Flächen- und Höhenverteilung der Jahresbilanz am Hallstätter Gletscher 2006/07	37
4.21	Wasserwerte der Ablation und Akkumulation an den Pegeln am HEF vom 1.10.2007 bis 30.9.2008.	39
4.22	Die spezifische Massenbilanz am HEF 2007/08 nach Höhenstufen und Jahreszeiten. Die spezifischen Bilanzen sind als Wasseräquivalent angegeben: 1 mm entspricht 1 kg m ⁻² . Flächen nach der Karte 2008.	41
4.23	Wasserwerte der Ablation und Akkumulation an den Pegeln am KWF vom 1.10.2007 bis 30.9.2008.	41
4.24	Die spezifische Massenbilanz am KWF 2007/08 nach Höhenstufen und Jahreszeiten. Die spezifischen Bilanzen sind als Wasseräquivalent angegeben: 1 mm entspricht 1 kg m ⁻² . Flächen nach neuer Karte 2008.	43
4.25	Tiefe, Dichte und Wasserwerte der Schneeschafts vom April 2008 am Jamtalferner.	44
4.26	Winterbilanz des Jamtalfernens nach Höhenstufen. Die Werte gelten für die Zeit vom 1. Oktober 2007 bis 30. April 2008.	44
4.27	Wasserwerte der Ablation an den Pegeln am Jamtalferner vom 1.10.2007 bis 30.9.2008.	45
4.28	Wasserwerte des Schneeschafts am Jamtalferner. Der Wert entspricht der Jahresrücklage 1.10.2007-30.9.2008	46

4.29	Die spezifische Massenbilanz am Jamtalferner 2007/08 nach Höhenstufen und Jahreszeiten. Die spezifischen Bilanzen sind als Wasseräquivalent angegeben: 1 mm entspricht 1 kg m^{-2} . Flächen nach neuer Karte 2008.	47
4.30	Dichte, Tiefe und Wasserwert der Schächte der Frühjahrsbegehung am Mullwitzkees 2008.	48
4.31	Flächen- und Winterbilanz-Höhenverteilung am Mullwitzkees und Mittelwerte der Höhenstufen.	48
4.32	Wasserwert der Herbstschächte am Mullwitzkees 2008.	49
4.33	Wasserwert der Ablation an den Pegeln am Mullwitzkees 2008.	50
4.34	Flächen- und Jahresbilanz-Höhenverteilung am Mullwitzkees und Mittelwerte der Höhenstufen.	51
4.35	Dichte, Tiefe und Wasserwert der Schächte der Frühjahrsbegehung am Hallstätter Gletscher 2008.	52
4.36	Flächen- und Winterbilanz-Höhenverteilung am Hallstätter Gletscher und Mittelwerte der Höhenstufen.	52
4.37	Wasserwert der Ablation an den Pegeln am Hallstätter Gletscher 2008. . .	53
4.38	Wasserwert der Herbstschächte am Hallstätter Gletscher 2008.	53
4.39	Flächen- und Höhenverteilung der Jahresbilanz am Hallstätter Gletscher 2007/08.	53

Literatur

- [Geist 2005] GEIST, T.: *Application of airborne laser scanner technology in glacier research.*, University of Innsbruck, Dissertation, 2005. – 127
- [Geist u. a. 2005] GEIST, T. ; ELVEHOY, H. ; JACKSON, M. ; STÖTTER, J.: Investigations on intra-annual elevation changes using multitemporal airborne laser scanning data-case study Engabreen, Norway. In: *Annals of Glaciology* 42 (2005), S. 195–201
- [Geist und Stötter 2007] GEIST, T. ; STÖTTER, J.: Documentation of glacier surface elevation change with multitemporal airborne laser scanner data-case study: Hintereisferner and Kesselwandferner, Tyrol, Austria. In: *Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie* 41 (2007), S. 77–106
- [Hess 1904] HESS, H.: *Die Gletscher.* Braunschweig : Friedrich Vieweg und Sohn, 1904. – 426 S
- [Hoinkes 1970] HOINKES, H.: Methoden und Möglichkeiten von Massenhaushaltsstudien auf Gletschern. In: *Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie* 6 (1970), S. 37–90
- [Kuhn 1979] KUHN, M.: Begleitworte zur Karte des Hintereisferners 1979, 1:10000. In: *Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie* 16 (1979), Nr. 1, S. 117–124
- [Kuhn u. a. 1999] KUHN, M. ; DREISEITL, E. ; HOFINGER, S. ; MARKL, G. ; SPAN, N. ; KASER, G.: Measurements and Models of the Mass Balance of Hintereisferner. In: *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography* 81 (1999), Nr. 4, S. 659–670
- [Kuhn und Markl 1996] KUHN, M. ; MARKL, G.: Jamtalferner-Massenhaushalt 1993/94. In: *Mitteilungsblatt des Hydrograph. Dienstes in Österreich* 74 (1996), S. 59–74
- [Kuhn u. a. 1985] KUHN, M. ; MARKL, G. ; KASER, G. ; NICKUS, U. ; OBLEITNER, F. ; SCHNEIDER, H.: Fluctuations of climate and mass balance: Different responses of two adjacent glaciers. In: *Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie* 21 (1985), S. 409–416
- [Lambrecht und Kuhn 2007] LAMBRECHT, A. ; KUHN, M.: Glacier changes in the Austrian Alps during the last three decades, derived from the new Austrian glacier inventory. In: *Annals of Glaciology* 46 (2007), S. 177–184
- [Lang und Patzelt 1971] LANG, H. ; PATZELT, G.: Die Volumenänderungen des Hintereisferners (Ötztaler Alpen) im Vergleich zur Massenänderung im Zeitraum 1953-64. In: *Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie* 7 (1971), Nr. (1-2), S. 39–55
- [Markl 1975] MARKL, G.: Massenhaushaltswerte von Hintereisferner und Kesselwandferner 1968/1969-1974/75. In: *Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie* 11 (1975), Nr. 2, S. 271–272

- [Markl 1979] MARKL, G.: Neue Massenhaushaltswerte von Hintereisferner und Kesselwandferner 1975/76-1977/78. In: *Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie* 15 (1979), Nr. 1, S. 95–99
- [Markl 1982] MARKL, G.: Hintereisferner-Kesselwandferner: Neue Haushaltswerte von den Jahren 1977/78-1980/81. In: *Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie* 18 (1982), S. 161–167
- [Matzi 2004] MATZI, E.: *Zeitreihen der Dichteentwicklung am Hintereisferner von 1964 bis 2002.*, Universität Innsbruck, Diplomarbeit, 2004. – 91 pp
- [Moser 1954] MOSER, R.: *Die Vergletscherung im Dachstein und ihre Spuren im Vorfeld.*, Universität Innsbruck, Diplomarbeit, 1954
- [Oitzl 2003] OITZL, S.: *Rekonstruktion der Massenbilanz des Hintereisferners mit Hilfe der NCEP/NCAR-Reanalysis-Daten über den Zeitraum von 1953-2000.*, Universität Innsbruck, Diplomarbeit, 2003. – 84 pp
- [Patzelt 1973] PATZELT, G.: Die neuzeitlichen Gletscherschwankungen in der Venedigergruppe (Hohe Tauern, Ostalpen). In: *Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie* 9 (1973), Nr. 1-2, S. 5–57
- [Rudolph 1963] RUDOLPH, R.: Glaciological Bibliography of the Central Oetztal Alps. In: *Bulletin of I.A.S.H.* 8 (1963), Nr. 2, S. 132–139
- [Schlosser 1997] SCHLOSSER, E.: Numerical simulations of Hintereisferner, Ötztal Alps, since AD 1850. In: *Annals of Glaciology* 24 (1997), S. 199–202
- [Schneider 1975] SCHNEIDER, H.: Die Karte des Kesselwandferners 1971 und die Grundlagen der Vermessungen. In: *Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie* 11 (1975), Nr. 2, S. 229–244
- [Simony 1895] SIMONY, F.: *Das Dachsteingebiet.* Verlag Ed. Hölzl, 1895. – 152 S
- [Span 1993] SPAN, N.: *Untersuchung der Dynamik des Hintereisferners zwischen 1894 u. 1992*, Univ. Innsbruck, Diplomarbeit, 1993
- [Span 1999] SPAN, N.: *Zur Dynamik des Kesselwandferners.*, Universität Innsbruck, Dissertation, 1999. – 214
- [Span und Kuhn 2003] SPAN, N. ; KUHN, M.: Simulating annual glacier flow with a linear reservoir model. In: *Journal of Geophysical Research* 108 (2003), Nr. 10, S. 1–8. – ACL 8-1–8-9
- [Span u. a. 1997] SPAN, N. ; KUHN, M. ; SCHNEIDER, H.: 100 years of ice dynamics of Hintereisferner, Central Alps, Austria, 1894-1994. In: *Annals of Glaciology* 24 (1997), S. 297–302